

## Graduado en Ingeniería Informática

Universidad Politécnica de Madrid

Facultad de Informática

TRABAJO FIN DE GRADO

Diseño de una Práctica para un Laboratorio Virtual de  
Biotecnología Multilingüe y adaptable a Alumnos de  
Secundaria

Autor: Daniel Fernández-Avilés Pedraza

Tutor: Jaime Ramírez Rodríguez



A mi familia y amigos por su apoyo  
y en especial a mi abuela que está  
pasando por un mal momento

A Diego por toda la ayuda prestada

A Jaime por su tutoría, fundamental  
para la realización del proyecto



## **Resumen**

Este trabajo describe el diseño y la implementación de un ejercicio virtual que es parte de una práctica que se realiza en un laboratorio virtual de biotecnología, la adaptación de la misma para que alumnos de secundaria la puedan realizar y por último, la adaptación del laboratorio a un entorno multilingüe. La práctica consiste en transformar genéticamente un árbol (chopo) para dotarlo de una mayor resistencia a enfermedades, especialmente las producidas por hongos y más en concreto, el ejercicio o fase de la práctica a desarrollar consiste en introducir en el plásmido un gen amplificado por la PCR obtenido en la fase anterior de la práctica virtual. La adaptación para alumnos de secundaria servirá para fomentar el interés de estos alumnos por la biotecnología. Asimismo, la adaptación a un entorno multilingüe permitirá que varios alumnos de distintos idiomas realicen la práctica de forma simultánea. Como parte de este trabajo, se ha realizado un análisis sobre OpenSimulator, que es la herramienta utilizada para la creación del entorno virtual, así como de sus visores gráficos para visitar y desarrollar el mundo virtual. Debido a que este proyecto toma como punto de partida un laboratorio virtual con una parte de la práctica virtual ya desarrollada, se ha incluido una descripción de dicho laboratorio para comprender mejor el trabajo que se ha realizado en este proyecto. Finalmente, en este trabajo se presentan los modelos y especificaciones para la extensión del laboratorio virtual.



## **Abstract**

This document describes the design and implementation of virtual exercise that is part of a practice that is performed in a virtual biotechnology laboratory, the adaptation of this phase to high-school students and finally, the adaptation of laboratory for a multilingual environment. In this practice a tree is genetically modified to give it resistance to diseases produced by fungi. Specifically, the exercise or phase developed consists in introducing in the plasmid a gene amplified by PCR in the previous phase. The adaptation for high-school students will motivate to new students about biotechnology. And the adapting to the multilingual environment will allow several students, such as Erasmus, to do the practice in different languages simultaneously. We analyzed the OpenSimulator platform and the graphic viewers to visit and develop the virtual world. This tool is used for creating the virtual environment. Because of the fact that the project takes a starting point a laboratory with some parts already developed, we have included a description with information related to the laboratory to better understand the work carried out in this project. Finally, this document presents the models and specifications for the extension of the virtual laboratory.





## Índice general

|   |    |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN.....  | 1  |
| 2. ESTADO DEL ARTE .....  | 5  |
| 2.1 Second Life .....   | 5  |
| 2.2 OpenSimulator .....   | 6  |
| 2.2.1 Arquitectura de OpenSim .....   | 8  |
| 2.3 Visores gráficos .....  | 10 |
| 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....   | 13 |
| 3.1 Implementación de una nueva fase de la práctica virtual .....                   | 13 |
| 3.1.1 Conceptos básicos de biotecnología .....                                      | 13 |
| 3.1.2 Laboratorio de biotecnología .....  | 15 |
| 3.1.3 Protocolo de la práctica .....  | 16 |
| 3.1.4 Justificación de la solución virtual .....                                    | 18 |
| 3.2 Adaptación de la fase para alumnos de secundaria.....                           | 20 |
| 3.2.1 Creación del tutorial .....   | 20 |
| 3.2.2 Adaptación de la fase 3 “Ligación de un gen amplificado en un plásmido” ..... | 20 |
| 3.3 Versión multilingüe .....   | 22 |
| 3.4 Tareas planificadas .....   | 23 |
| 4. DESARROLLO.....  | 25 |
| 4.1 Antecedentes .....  | 25 |
| 4.1.1 Laboratorio de biotecnología .....  | 25 |
| 4.1.2 Tutor .....   | 30 |
| 4.2 Diseño de una nueva fase de la práctica virtual .....                           | 31 |
| 4.2.1 Modelo de Protocolo.....  | 32 |
| 4.2.2 Modelo de Dominio .....   | 34 |
| 4.2.3 Diseño de la interacción entre objetos .....                                  | 35 |
| 4.2.4 Definición de la estrategia de tutoría .....                                  | 38 |
| 4.2.5 Consideraciones .....   | 38 |

|   |    |
|---|----|
| 4.3 Adaptación de la fase para alumnos de secundaria.....                           | 39 |
| 4.3.1 Desarrollo del tutorial .....   | 39 |
| 4.3.2 Adaptación de la fase 3 “Ligación de un gen amplificado en un plásmido” ..... | 41 |
| 4.4 Versión multilingüe .....   | 45 |
| 4.4.1 Cambios en el componente tutor .....  | 45 |
| 4.4.2 Cambios en los objetos del laboratorio.....                                   | 47 |
| 5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO.....   | 49 |
| BIBLIOGRAFÍA .....  | 51 |
| ANEXO A .....   | 53 |

## Índice de figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 2.1 Entorno Second Life .....   | 5  |
| Figura 2.2 Alumno biotecnología.....   | 7  |
| Figura 2.3: Diagrama de la Arquitectura Grid de OpenSimulator .....            | 8  |
| Figura 2.4 Herramienta de edición .....  | 10 |
| Figura 4.1 Sala principal.....   | 25 |
| Figura 4.2 Poyata.....   | 26 |
| Figura 4.3 Pizarra .....   | 27 |
| Figura 4.5 Termobloque .....   | 28 |
| Figura 4.6 Bandeja de hielo.....   | 28 |
| Figura 4.7 Micropipeta amarilla .....  | 29 |
| Figura 4.8 Tubo eppendorf .....  | 29 |
| Figura 4.9 Macros.....   | 32 |
| Figura 4.10 Modelo de Protocolo Fase 3.....                                    | 33 |
| Figura 4.11 Modelo de Dominio Fase 3 .....                                     | 34 |
| Figura 4.12 Reservar puesto de trabajo .....                                   | 35 |
| Figura 4.13 Diagrama de secuencia Agregar químicos a la bandeja de hielo ..... | 36 |
| Figura 4.14 Diagrama de secuencia Preparación paso de químicos.....            | 36 |
| Figura 4.15 Diagrama de secuencia Agregar químicos mezcla ligación.....        | 37 |
| Figura 4.16 Diagrama de secuencia Amplificación del fragmento .....            | 37 |
| Figura 4.17 Modelo de Protocolo Tutorial .....                                 | 40 |
| Figura 4.18 Tutorial café .....  | 40 |
| Figura 4.19 Terminología.....  | 41 |
| Figura 4.20 Diagrama de flujo para la Adaptación Secundaria.....               | 43 |
| Figura 4.21 Indicaciones para un alumno de secundaria.....                     | 44 |
| Figura 4.22 Parpadeo de un objeto para un alumno de secundaria .....           | 44 |
| Figura 4.23 Diagrama de flujo para la Versión multilingüe.....                 | 46 |



## 1. INTRODUCCIÓN

En primer lugar vamos a definir el término realidad virtual, ya que este proyecto se centra en un laboratorio virtual de biotecnología donde los alumnos podrán realizar virtualmente sus prácticas simulando la realidad. Podemos considerar que un sistema de realidad virtual es: “Una base de datos interactivos capaz de crear una simulación que implique a todos los sentidos, generada por un ordenador, explorable, visualizable y manipulable en *tiempo real* bajo la forma de imágenes y sonidos digitales, transmitiendo la sensación de presencia en el entorno informático” [2]. A través de la realidad virtual podemos crear mundos virtuales. Tenemos dos tipos de mundos virtuales los inmersivos y los no inmersivos. Los mundos virtuales inmersivos crean una ilusión más o menos lograda de “estar en ellos” y para esto requieren de dispositivos de realidad virtual que permitan interactuar con el entorno (como cascos, gafas o guantes), que suelen tener precios prohibitivos para muchos usuarios. Por otra parte, los mundos virtuales no inmersivos solo pueden crear la sensación de “mirar el entorno”, pero tienen la ventaja de no requerir dispositivos específicos de realidad virtual. En nuestro caso, nuestro laboratorio de biotecnología es un mundo virtual no inmersivo, lo cual facilita su utilización por parte de muchos usuarios, ya que solo requiere dispositivos de escritorio tales como un teclado o un ratón.

Algunos desarrolladores han utilizado los mundos virtuales para crear entornos dedicados a la educación aprovechando sus detalles gráficos, las facilidades sociales y la posibilidad de poder acceder a ellos desde cualquier lugar del mundo.

La incorporación de las nuevas tecnologías en el ámbito educativo ha logrado que millones de personas en todo el planeta estén conectadas intercambiando conocimientos en espacios colaborativos. El uso de estos espacios está mejorando los sistemas de educación tradicionales, pues incentivan la participación activa de los estudiantes. Estos entornos educativos se han utilizado, por ejemplo, para dictar clases.

Este proyecto se engloba en el campo de las aplicaciones educativas de los mundos virtuales y el aprendizaje por medio de prácticas de laboratorio. Concretamente, se presenta el desarrollo de una fase de una práctica virtual de biotecnología y la adaptación del laboratorio virtual para que pueda ser utilizado por estudiantes de secundaria y estudiantes que no sean de habla hispana. Este laboratorio está desarrollado en OpenSimulator, que es una plataforma de código libre y gratuito que nos permite desarrollar y gestionar entornos virtuales multi-usuario de forma sencilla.

El laboratorio de biotecnología se empezó a desarrollar en el proyecto de innovación educativa PEIA. En el proyecto PEIA, se exploraron las posibilidades de los mundos virtuales como herramienta educativa en la docencia de una serie de asignaturas impartidas en la UPM, y se estudió la integración de estos mundos virtuales con la

plataforma Moodle. Para ello, se desarrollaron cuatro prototipos de laboratorios virtuales utilizando la plataforma OpenSimulator: laboratorio de biotecnología, laboratorio de control de riegos, laboratorio de electrónica y laboratorio de física.

A continuación, se describe brevemente el contenido del laboratorio en cuestión:

El laboratorio virtual de biotecnología consta de un edificio en el que los alumnos pueden encontrar el instrumental y el material necesario para realizar prácticas de ingeniería genética. En el laboratorio de biotecnología los alumnos podrán realizar una práctica bajo la supervisión de un tutor automático. Este tutor es capaz de guiar a los alumnos a través de la misma y de corregirles los posibles errores que puedan cometer. Esta práctica les permite transformar genéticamente una planta (chopo) para mejorar su resistencia frente a ciertos tipos de hongos

La práctica está dividida en seis fases: Micropropagación del material vegetal, PCR, Ligación, Transformación bacteriana, Transformación vegetal e Inoculación de tejido vegetal. Las dos primeras fases así como el tutor automático ya están implementados, por lo tanto, éste será el punto de partida del proyecto.

Los principales objetivos del proyecto son los siguientes:

- La implementación de un tutorial acerca de las formas de interacción del avatar con los objetos en el laboratorio de biotecnología, que servirá de entrenamiento previo a los estudiantes que vayan a realizar la práctica virtual.
- La implementación del ejercicio virtual “Ligación de un gen amplificado en un plásmido” que se corresponde con la fase 3 de la práctica del laboratorio de biotecnología. Este ejercicio virtual ha sido ideado para ser llevado a cabo por estudiantes de un grado o un master en el que se impartan contenidos relacionados con la biotecnología agroforestal.
- La adaptación del ejercicio virtual implementado para su realización por parte de alumnos de secundaria. La adaptación consistirá en añadir un conjunto de ayudas extra que no requieren los estudiantes de un grado o un master tales como un mayor número de mensajes de tutoría e indicaciones visuales sobre el material y el instrumental a utilizar en cada momento para completar con éxito dicho ejercicio.
- La adaptación del laboratorio de biotecnología a un entorno multilingüe con el fin de facilitar el uso del laboratorio a personas que no sean de habla hispana.

La memoria está estructurada en cinco partes:

- La primera parte es esta introducción.
- La segunda parte incluye un estado del arte donde se hace una descripción de la herramienta OpenSimulator, así como, del visor utilizado para realizar el proyecto.
- La tercera parte describe el planteamiento del problema a desarrollar, es decir, se definen los conceptos básicos de biotecnología necesarios para comprender dicho problema y proponer una solución. Asimismo, se presentará el ejercicio “Ligación de un gen amplificado en un plásmido” a realizar por el alumno paso a paso y su finalidad académica. Y por último, se explicará la necesidad de realizar las distintas adaptaciones del laboratorio.
- La cuarta parte explica el desarrollo de la solución adoptada a los problemas especificados. Se incluirán en la explicación de algunas soluciones, un conjunto de diagramas que definirán las interacciones entre el alumno y los distintos objetos del laboratorio, así como, los protocolos de comunicación entre los propios objetos.
- Finalmente, la quinta parte enumera las conclusiones a las que he llegado en el desarrollo del proyecto y plantea algunas líneas de trabajo futuro que se podrían derivar de este trabajo.





## 2. ESTADO DEL ARTE

En la actualidad disponemos de distintas plataformas para el desarrollo de mundos virtuales, todas ellas nos ofrecen el soporte y la posibilidad de desarrollar entornos 3D donde realizar una serie de actividades, tanto educativas, como de ocio, etc. En la actualidad tenemos distintos mundos virtuales como The Sims, Second Life o Guild War donde millones de personas en todo el mundo interactúan.

Entre estas plataformas están Bitmanagement Software Collaborate System, Open Wonderland [10], Second Life u OpenSimulator. Nos centraremos en las dos últimas, aunque, especialmente en OpenSimulator, que es la herramienta utilizada en este proyecto.

### 2.1 Second Life

Second Life es un mundo virtual lanzado el 23 de junio de 2003, desarrollado por *Linden Lab*. Sus usuarios se ven representados por avatares, que pueden explorar el mundo virtual, interactuar con otros avatares, establecer relaciones sociales, participar en diversas actividades tanto individuales como en grupo y crear y comerciar con propiedades virtuales y servicios entre ellos [12] [13]. En la Figura 2.1, donde podemos ver un grupo de avatares asistiendo a una conferencia.



Figura 2.1 Entorno Second Life

Para acceder al programa es requisito imprescindible crear una cuenta, la cual da acceso al mundo y al avatar. Los avatares son caracterizaciones tridimensionales personalizables, lo cual, permite a los usuarios convertirse en el personaje que deseen y "disfrutar" (como el mismo nombre del programa indica) de una segunda vida.

Second Life permite la posibilidad de crear objetos e intercambiar diversidad de productos virtuales a través de un mercado abierto que tiene como moneda local el Linden Dólar (L\$) [8].

Para dotar de comportamiento a los objetos Second Life posee un lenguaje de *scripting* llamado *Linden Scripting Language* (LSL), que posee una sintaxis parecida al lenguaje C. Mediante este lenguaje de *script* es posible cambiar la posición de un objeto, su tamaño, color, etc.

## 2.2 OpenSimulator

OpenSimulator(OS) o más comúnmente conocido como OpenSim es un servidor 3D de código abierto, multi-plataforma y multi-usuario, que nos permite crear mundos virtuales. El proyecto fue fundado en 2007 por Darren Guard, coincidiendo con el momento en el que Second Life lanzó un nuevo cliente de código abierto además de una librería para que otros desarrolladores puedan crear nuevos clientes gráficos que se conecten a su servidor. Gracias a aquello nace la idea de OS, como un servidor 3D al que se pueda conectar dicho cliente gráfico de Second Life [15]

Está escrito en C# y por lo tanto corre en sistemas operativos Windows sobre el .NET *Framework* de Microsoft, y sobre el *framework* Mono para sistemas operativos Linux. En la actualidad, se encuentra en la versión 0.7.5 considerada todavía como una versión alfa, puesto que los desarrolladores están todavía corrigiendo errores para mejorar su estabilidad antes de lanzar su versión 1.0.

OS permite recrear mundos de la misma forma que en Second Life, utilizando las mismas primitivas y su mismo lenguaje script (LSL) para dotar de comportamiento a los objetos. Además, posee algunas funciones propias que se pueden utilizar dentro de los scripts de la misma forma que las de LSL, denominadas funciones OSSL, y que tienen el prefijo os en vez del ll que tienen las de LSL. Para poder utilizar estas funciones OSSL es necesario activarlas en el fichero de configuración Opensim.ini que se encuentra en la carpeta bin de la instalación de OS.

Este fichero Opensim.ini nos permite configurar de forma amplia el servidor que contiene el mundo virtual. En este fichero vienen perfectamente documentadas todas las posibilidades de trabajo que nos ofrece el servidor. Permittiéndonos fácilmente la activación y desactivación de los distintos módulos en los que se divide el mismo, así como, la configuración de sus distintos parámetros. Tenemos distintos módulos como

son Startup, Network, XMLRPC o el que nombrábamos anteriormente para dar permisos a los scripts XEngine.

Dentro del mundo virtual un avatar se mueve por regiones donde puede interactuar con objetos, construir nuevos objetos y editar sus propiedades, siempre que disponga de los permisos apropiados. Una región es un área de terreno que tiene 256x256 metros de extensión, de acuerdo con el diseño original de Second Life.



Figura 2.2 Alumno biotecnología

OpenSim nos permite comunicarnos con el mundo exterior, de esta forma podemos transmitir y recibir información tanto desde OpenSim al exterior como del exterior a OpenSim. Disponemos de varias formas de establecer comunicación, realizando peticiones http, o a través de XMLRPC. [16]

### 2.2.1 Arquitectura de OpenSim

OS tiene dos formas de operar, la primera es llamada modo *StandAlone*, en la que todas las regiones se encuentran en un mismo servidor. La segunda se llama modo *Grid*, y es totalmente distinta a la anterior, pues en ésta las regiones se encuentran en varios servidores que ejecutan OS y se encuentran conectados por medio de una red o por medio de Internet, como por ejemplo *New World Grid*, cuyo portal web permite conectar una región de OS a todo su *grid* de regiones.

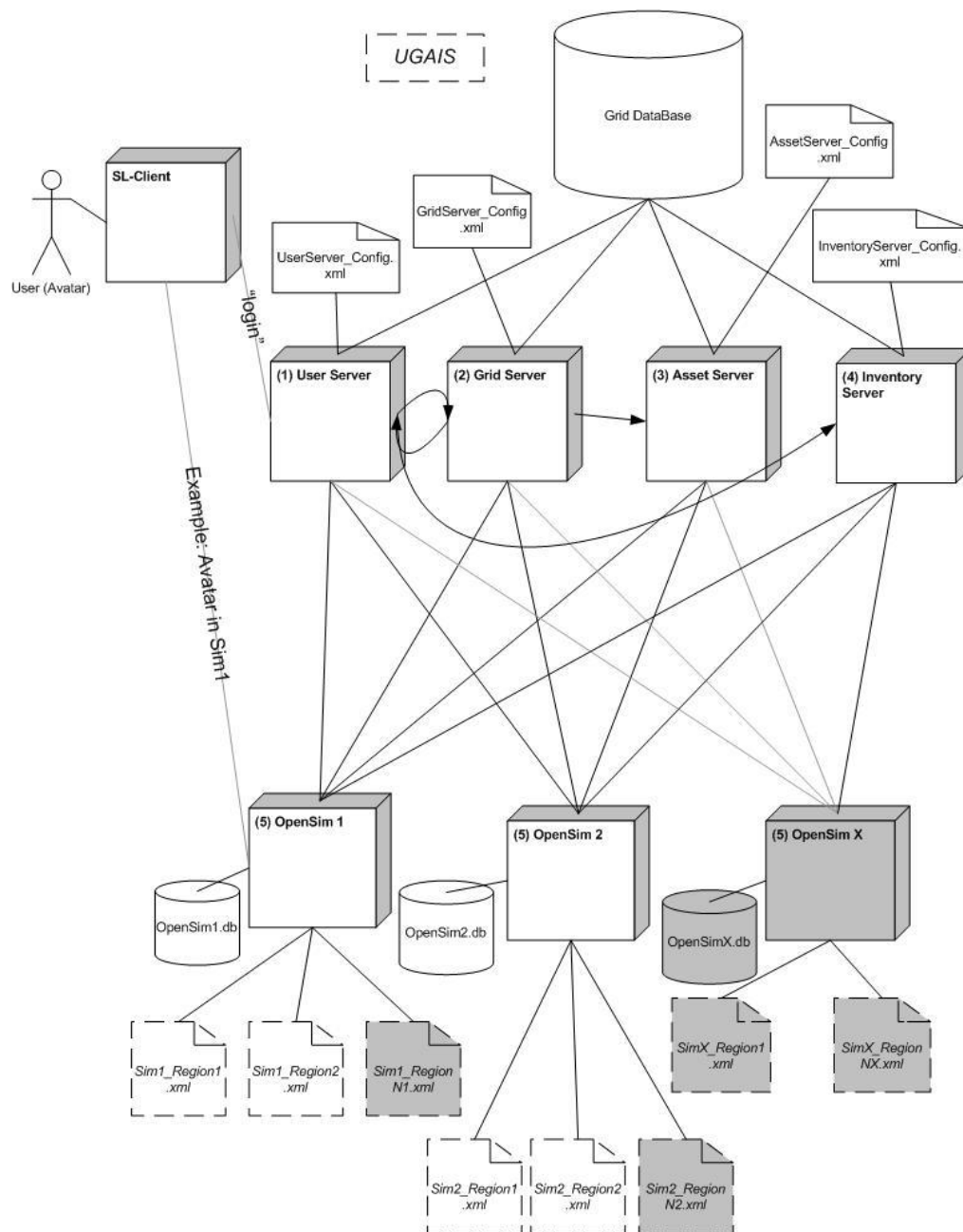


Figura 2.3: Diagrama de la Arquitectura Grid de OpenSimulator

Desde el punto de vista de la arquitectura del software, cada región proporciona cinco servicios principales conocidos por el acrónimo UGAIM, como se muestra en la Figura 2.3 (*User, Grid, Asset, Inventory, Messaging*). El *UserServer* es el servicio que autentica a los usuarios para que puedan ingresar al grid por medio de su avatar, cada avatar está definido por un Identificador Único Universal o UUID. El *GridServer* autentica cualquier otra cosa en el grid que no sea un avatar. El *AssetServer* administra todos los objetos (*Assets*) que existen como, sonidos, texturas, imágenes, notas, scripts u objetos, a los cuales les otorga un UUID para que puedan diferenciarse. *InventoryServer* administra los inventarios de los avatares y de los objetos, es decir, cada objeto y cada avatar posee un contenedor o inventario que puede albergar más objetos, aquí es donde interviene el *InventoryServer* que enlaza el UUID del objeto o avatar con todos los objetos de su inventario. Finalmente el *MessagingServer* administra la comunicación por medio de mensajes entre avatares manteniendo logs de dichos mensajes.

Cuando se configura OS para que se ejecute en modo *StandAlone*, la región se provee de sus propios servicios UGAIM que se ejecutan como un mismo proceso.

En cambio, en el modo *Grid* estos servicios se ejecutan cada uno como un proceso individual y pueden estar corriendo en diferentes computadores.

OpenSim tiene además tres formas de almacenar sus datos. Por medio de una base de datos SQLite, por medio de MySQL o mediante la utilización de Microsoft SQL Server.

Los módulos explicados anteriormente pueden ser configurados en el fichero *Opensim.ini*.

## 2.3 Visores gráficos

Para acceder al mundo virtual de cualquier entorno de desarrollo se necesita una aplicación cliente, que se utiliza como visor. Por medio de ésta se inicia sesión y se reciben todos los datos del servidor relacionados con la posición del avatar y con la información de los objetos cercanos, para su posterior renderizado. Es decir, esta aplicación es la que se encarga de la visualización 3D y de la interacción con el usuario por medio del ratón y el teclado. Todos estos visores permiten la comunicación entre avatares, ya sea por medio de chat o por voz. Existen varios visores que pueden conectarse tanto a SL como a OS, son los siguientes:

- Hippo Viewer
- Imprudence
- Phoenix Viewer
- Singularity

Todos estos visores permiten crear objetos 3D a base de primitivas básicas las cuales son: cubo, prisma, pirámide, tetraedro, cilindro, semicilindro, cono, semicono, esfera, semiesfera, toroide, tubo, anillo, árbol y hierba. En la Figura 2.4 se muestra la herramienta de edición de los visores, tanto de Second Life como de OpenSim. También se pueden cambiar propiedades de los objetos tales como: tamaño, ubicación, color, textura, rotación, etc. Para crear objetos 3D más complejos como un edificio o una mesa, se pueden unir varias primitivas con diferentes dimensiones. También permiten importar modelos 3D creados por otras aplicaciones en formato Collada a los cuales se los llama *mesh*.



Figura 2.4 Herramienta de edición

Para dar comportamiento a los objetos les dotaremos de *scripts*, los cuales se incluyen en el inventario de la propia primitiva u objeto. Estos *scripts* deben ser escritos en el mismo lenguaje que utiliza SL (LSL), que es un lenguaje de programación estructurado dirigido por eventos con una sintaxis similar a la de C.

Un script programado en LSL se puede dividir en estados, para definir de mejor forma los cambios de un objeto y además permitir que un objeto se comporte de diferente manera en cada uno de ellos. Todo *script* comienza con un estado llamado *default* y para crear uno nuevo se debe anteponer la palabra *state* seguido de un espacio y el nombre que se desee dar.

LSL está dirigido por eventos, es decir, cuando existe algún cambio en el entorno, el *script* lo detecta y realiza los pasos definidos para dicho evento. Existen varios tipos de eventos definidos en el portal de SL, los más utilizados son:

- *state entry*: es el evento que se ejecuta al iniciar el estado.
- *touch*: se produce cuando el usuario toca con el puntero del ratón el objeto.
- *listen*: se dispara cuando recibe un mensaje por un canal de chat desde otro objeto o desde el panel de mensajería del visor.
- *timer*: se ejecuta cada cierto tiempo, configurado por medio de la función *llSetTimerEvent*.
- *sensor*: se produce cuando detecta que un objeto o avatar entra en su campo de acción definido por la función *llSensor* o *llSensorRepeat*.

LSL tiene varios tipos de datos, la mayoría similares a los de los demás lenguajes que son: flotante (*float*), entero (*integer*) y cadena de caracteres (*string*). Existen otros tipos de datos propios de LSL como:

- *vector* : es un tipo de dato que contiene tres números flotantes y que se utiliza para definir posiciones de los objetos en X, Y y Z.
- *rotation*: define un ángulo de orientación del objeto 3D.
- *key*: sirve para definir a un identificador único de todo lo que se encuentra en el entorno.
- *list* : es un tipo de dato especial que puede contener cero o más elementos de cualquier tipo de dato.

Permite la utilización de operadores para realizar operaciones como: suma, resta, multiplicación, división, módulo, incremento, decremento, comparaciones y operaciones binarias, etc.

Para que un *script* pueda trabajar con ficheros de texto podemos utilizar notas de texto, las cuales se incluyen en el inventario de una primitiva u objeto. En las notas podemos almacenar información valiosa como por ejemplo, *logs* para el registro de acciones o una sencilla base de datos para cargar información necesaria para la lógica del programa.



### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

A continuación, vamos a describir todo el trabajo planteado en la realización del Proyecto, que se divide en tres grandes apartados y finalmente una lista de tareas que se han planificado para cumplir con todo este trabajo.

#### **3.1 Implementación de una nueva fase de la práctica virtual**

En este apartado se va a describir el trabajo relacionado con la ampliación del laboratorio en lo referente a la creación de una nueva fase de la práctica. La práctica consiste en la transformación genética de una planta (chopo) para mejorar su resistencia frente a ciertos tipos de hongos. Esta práctica se divide en seis fases. La fase 1 y 2 están completamente desarrolladas, así como el tutor automático que se encarga de validar las acciones que va realizando el alumno a lo largo de la práctica, y de guiarle según la estrategia de tutoría definida para la práctica.

La nueva fase en cuestión es la fase 3 “Ligación de un gen amplificado en un plásmido” en el que se introduce en el plásmido el gen amplificado por la PCR obtenido en la fase anterior.

##### **3.1.1 Conceptos básicos de biotecnología**

Se van a describir una serie de conceptos y de elementos relacionados con la práctica con el fin de facilitar la comprensión del procedimiento y de los resultados esperados en la fase 3 “Ligación de un gen amplificado en un plásmido” que se realiza en la práctica virtual:

##### **Biotecnología**

La biotecnología es la ciencia que estudia el uso de procesos biológicos con fines industriales, su estudio implica el uso de técnicas de genética, biología molecular y bioquímica. Las principales áreas de aplicación biotecnológica son: médica, industrial y agro-forestal.

##### **Manipulación genética**

Las principales aproximaciones técnicas utilizadas para el estudio de la función de un gen consisten en la denominada “genética directa”, que consiste en producir un incremento en la expresión del gen de interés, y la “genética inversa”, generando la anulación de la

### **Vector de clonación**

Es una molécula de ADN que contiene información genética y que sirve de vehículo para la transferencia de esta información genética a un organismo hospedador. Los principales tipos de vectores de clonación utilizados son: plásmido, fago (*Phage*), cósmido, BAC (*Bacterial Artificial Chromosomes*), YAC (*Yeast Artificial Chromosomes*).

### **Gen marcador de resistencia a antibióticos**

Es aquél que concede resistencia a un antibiótico y acompaña al gen de interés en el vector de clonación. Permite la selección del organismo que lo contiene cuando este crece en un medio en presencia de dicho antibiótico.

### **Tubo de eppendorf**

Un tubo de eppendorf es un pequeño contenedor cilíndrico de plástico, con un fondo cónico y típicamente una tapa unida al cuerpo del tubo para evitar su desprendimiento. Son empleados profusamente en biología molecular y bioquímica no sólo para la centrifugación, sino también, dado su bajo costo, como simples viales contenedores de sustancias químicas.

### **Plásmido**

Los plásmidos son moléculas de ADN extracromosómico circular o lineal que se replican y transcriben independientes del ADN cromosómico. Los plásmidos suelen contener uno o dos genes que les confieren resistencia a antibióticos y permiten seleccionar clones recombinantes.

### **Termobloque**

Los termobloques se utilizan para aplicaciones que necesitan resultados reproducibles y excelente estabilidad de temperatura. Estas unidades multiuso se utilizan para llevar a cabo procesos de incubación y activación de cultivos, reacciones enzimáticas, determinaciones de nitrógeno ureico en sangre, inmunoensayos y puntos de fusión o ebullición.

### 3.1.2 Laboratorio de biotecnología

Un laboratorio de biotecnología es una instalación habilitada para llevar a cabo experimentos relacionados con la biotecnología, las cuales deben disponer tanto del instrumental como de la maquinaria necesaria, así como, del material biológico y bioquímico.



Figura 3.1 Laboratorio en el centro de Biotecnología y Genómica de Plantas de la UPM

Un laboratorio está compuesto por distintas salas como las siguientes: sala de reuniones., biblioteca, sala de seminarios, sala de computadores, sala de crecimiento y los laboratorios.

Todo lo referente a la nueva fase se realizará únicamente en una sala, denominada sala principal, donde dispondremos de los siguientes elementos que nos ayudarán a completar con éxito el experimento:

- **Poyata.** Es la mesa de trabajo.
- **Pizarra:** Muestra los fundamentos y el protocolo de la práctica.
- **Bandeja de hielo:** Nos permitirá coger las sustancias del frigorífico y llevarlas a la mesa de trabajo en condiciones favorables.
- **Micropipeta.** Aparato que permite la toma y dosificación de volúmenes en cantidades muy pequeñas (a concentraciones micromolares).
- **Tubo *ependorf*.** Tubo de plástico autoclavable para la mezcla de reactivos en biología molecular utilizando volúmenes de hasta 2 ml.
- **Termobloque:** Nos permite introducir el gen amplificado por la PCR en el plásmido.

Y también dispondremos de una gran cantidad de sustancias o productos para utilizar en nuestro experimento:

IAA, Ácido indolacético  
Enzima Ligasa  
Enzima Taq Polimerasa  
Tampón de Ligasa (clonasa)  
Tampón de Polimerasa  
Oligonucleótido derecho  
Oligonucleótido izquierdo  
Cloruro de Magnesio  
Plásmido 35S  
Plásmido miRNA  
Antibiótico Kanamicina  
Antibiótico Gentamicina  
Antibiótico Cloranfenicol  
Mezcla de dNTPs  
ADN molde de Chopo  
Producto de PCR  
ADN plasmídico

### 3.1.3 Protocolo de la práctica

Es el procedimiento que debe seguirse paso a paso y de forma ordenada, para obtener un resultado que se pueda reproducir un número ilimitado de veces. Es un elemento fundamental en el cumplimiento del método científico, pues al ejecutarlo y posteriormente repetirlo se puede confirmar o desestimar la hipótesis planteada.

Las fases a seguir del protocolo de la presente práctica son:

1. **Micropropagación del material vegetal.** A partir de una planta no modificada genéticamente se obtienen varias.
2. **PCR.** En este paso se amplifica un gen de interés de un ADN molde de Chopo.
3. **Ligación.** Se introduce el gen amplificado por la PCR en el plásmido.
4. **Transformación bacteriana.** Se inserta el plásmido en las bacterias.
5. **Transformación vegetal.** En esta fase se obtiene el árbol modificado genéticamente, mediante la infección de éste con las bacterias al introducir el gen amplificado.
6. **Inoculación de tejido vegetal.** Se inocula con hongos la planta modificada y otra silvestre y se comparan los efectos producidos. Así se comprueba si la planta ha sido modificada genéticamente con éxito.

Y ahora vamos a centrarnos más en profundidad en la fase que vamos a implementar en este proyecto.

La fase 3 “Ligación de un gen amplificado en un plásmido” consiste en los siguientes pasos:

1. Encender el termobloque a 16°C.
2. Recoger el soporte con hielo y tomar del frigorífico a -20°C los siguientes productos:
  - ADN plasmídico (incluye un gen de resistencia a antibiótico, una secuencia promotora que regula la expresión del gen y una zona para la inserción del gen).
  - ADN amplificado por PCR (obtenido en la fase anterior).
  - Tampón de la enzima ligasa.
  - Enzima ligasa.
  - Agua destilada.
3. Ir a la poyata y en un tubo *ependorf* mezclar todos los componentes utilizando una pipeta.
4. Introducir el tubo con la mezcla en el termobloque y dejarlo toda la noche (*overnight*), es decir, de ocho a diez horas a 16°C.
5. Guardar el plásmido en un frigorífico a -20°C.

### **3.1.4 Justificación de la solución virtual**

La necesidad de desarrollar un entorno virtual para esta práctica se basa en varios motivos como pueden ser: su elevado coste en la vida real; el tiempo que necesitaríamos en el mundo real para completar la práctica; evitar los riesgos a los que pueden estar expuestos los estudiantes en un laboratorio real; la disponibilidad de tener el laboratorio abierto 24 horas y con un gran número de plazas; y la capacidad de conocer con exactitud todas las acciones que ha realizado el alumnos, así como sus errores de forma automática.

Para realizar esta práctica en un laboratorio de biotecnología se deben comprar productos químicos, plantas y material de laboratorio desechable que son muy costosos y delicados, cuyo importe total oscila entre los 10.000 € y 24.000 €. Por esto en las prácticas presenciales no se permite a los alumnos utilizarlos.

Al no tener que comprar el material de laboratorio necesario para realizar la práctica, evidentemente el coste se reduce de forma drástica y los conceptos aprendidos por los estudiantes complementan muy bien la formación teórica que adquieren en clase o en los libros. Esto se debe a que los alumnos aprenden el procedimiento tanto de trabajar en un laboratorio (aplicando las medidas de seguridad, como guantes, batas, etc.) como de realización de la práctica.

Por un lado, esta virtualización tiene el inconveniente de que nos priva de un cierto realismo de lo que estamos haciendo, pero, por otro, nos protege frente a todos los posibles peligros que nos podemos encontrar en un laboratorio al manejar químicos o maquinarias. Los estudiantes que no tengan experiencia pueden tener accidentes y salir malheridos, lo que no puede ocurrir en un entorno virtual.

Otro motivo que justifica el uso de este tipo de laboratorio es reducir el tiempo de duración del experimento, pues al ser un entorno virtual se puede acelerar y obtener con gran probabilidad de acierto los mismos resultados que en la vida real.

Otra gran ventaja es la gran disponibilidad del laboratorio ya que puede ser utilizado a cualquier hora del día y sin necesidad de estar presente en la universidad. Un alumno puede realizar perfectamente la práctica desde casa, simplemente reservando una hora.

Otro factor importante es la gran escalabilidad que nos ofrece la solución virtual, ya que el laboratorio se puede adaptar al número de alumnos en el sentido de que si es necesario se pueden ejecutar de forma simultánea varios laboratorios con un coste irrisorio.

Al transformar la práctica real en un sistema de software, se puede tener un mayor control sobre las acciones que realiza el estudiante, quedando todas registradas así como sus errores de forma automática. Esto supone una gran ayuda para el profesorado a la hora de detectar los errores que cometen sus alumnos y evaluar de una forma más rápida la realización de la práctica.

La realización de la práctica virtual pretende reforzar los conocimientos adquiridos en clase por el estudiante de manera complementaria a las prácticas presenciales, y no pretende de ningún modo sustituirlas.

### **3.2 Adaptación de la fase para alumnos de secundaria**

En este apartado se va a describir el trabajo relacionado con la ampliación del laboratorio en lo referente a la adaptación de la fase 3 “Ligación de un gen amplificado en un plásmido” para ser realizada por alumnos de secundaria.

Esta adaptación está dividida en dos partes: la primera sería la creación de un tutorial y la segunda la adaptación de la fase 3 propiamente dicha.

#### **3.2.1 Creación del tutorial**

La primera parte consiste en la implementación de un tutorial que se realizará al comienzo de la práctica cuyo objetivo principal será que los usuarios se familiaricen con el entorno y la forma de interactuar con los objetos del laboratorio.

Este tutorial consistirá en preparar una taza de café y estará destinado fundamentalmente a usuarios que no están familiarizados con la interacción en mundos virtuales.

Para realizar este sencillo tutorial, el alumno entrará en la cafetería del laboratorio y se acercará a la máquina de café, donde cogerá una taza y se preparará un café. Finalmente, se sentará en una de las mesas de la cafetera y se lo tomará.

#### **3.2.2 Adaptación de la fase 3 “Ligación de un gen amplificado en un plásmido”**

La adaptación se va a realizar utilizando tres tipos de ayudas al alumno:

##### **1. Ampliación de los mensajes de ayuda del tutor**

Esta ayuda consiste en que los mensajes del tutor serán más precisos e indicarán al alumno exactamente los pasos que debe de realizar. Esto significará que el alumno nunca estará solo frente a la práctica puesto que el tutor automático siempre le indicará el siguiente paso a realizar. Un ejemplo claro de esta adaptación se ve reflejado en el momento en el que el alumno debe decidir qué sustancias añadir a su bandeja de hielo para posteriormente mezclarlas. En la versión de secundaria el tutor automático le va diciendo al alumno uno a uno todos los componentes que debe añadir para la correcta realización de la práctica. Sin embargo, en la versión estándar el tutor solo le indica que añada las sustancias necesarias y que cuando finalice, realice la siguiente acción.

Para entender los dos siguientes apartados es importante comentar que al comenzar la práctica, el tutor automático asigna un color distinto a cada alumno, que posteriormente se corresponderá con el color de las indicaciones de cada alumno. De esta forma evitaremos confusiones o conflictos entre distintos alumnos. Esta idea surgió debido a



que un alumno de secundaria no conoce ningún elemento de un laboratorio de biotecnología. Además, de esta forma tan visual podemos complementar las instrucciones del tutor con indicaciones que ayuden a identificar los objetos y ubicarlos en el laboratorio.

## **2. Implementación de una indicación en forma de parpadeo**

Este mecanismo de ayuda consiste en iluminar y dar brillo de forma simultánea a un objeto, para posteriormente apagarlo y quitarle el brillo, esta acción se repetirá de forma constante imitando un efecto de parpadeo durante 6 segundos, con el fin de llamar la atención del alumno.

Esta ayuda sería un complemento visual a la indicación del tutor, que dependiendo del tipo del objeto relacionado con la indicación del tutor se empleará o no.

## **3. Implementación de una indicación en forma de flecha**

Este mecanismo de ayuda consiste en crear una flecha en movimiento sobre el objeto en cuestión durante 10 segundos en forma de indicación visual para llamar la atención del alumno.

Esta ayuda sería un complemento visual a la indicación del tutor, que dependiendo del tipo del objeto relacionado con la indicación del tutor se empleará o no.

Asimismo, puede darse el caso de que ambos tipos de indicaciones sean utilizados a la vez.

Otra funcionalidad importante que se va a añadir, es la posibilidad de que el alumno pueda pedir que se le repita la última indicación luminosa que se le mostró. Esta funcionalidad será de utilidad si el alumno se ha despistado y no le ha dado tiempo a ver la indicación, o si la disponibilidad del objeto que se iba a utilizar ha cambiado, y ahora no se puede utilizar porque el objeto está siendo utilizado por otro alumno.

### **3.3 Versión multilingüe**

En este apartado se va a describir el trabajo relacionado con la ampliación del laboratorio en lo referente a la adaptación del laboratorio para un entorno multilingüe.

Esta parte consiste en la adaptación del laboratorio de biotecnología a un entorno multilingüe, lo que supondrá la adaptación completa de todo el laboratorio a distintos idiomas. Esto permitirá la realización simultánea de la práctica por parte alumnos de diferentes idiomas. El tutor automático será capaz de tutelar a todos los alumnos en el idioma seleccionado por cada uno al comienzo de la práctica. Asimismo, se tendrá en cuenta esto en los objetos del laboratorio que mostrarán sus mensajes de trabajo en función de la lengua del alumno que esté interactuando con él en cada momento.

### 3.4 Tareas planificadas

A continuación se muestra una lista de tareas desglosadas en subtarea que se plantearon para cumplir con todo el trabajo a realizar:

#### 1. Estudio de la plataforma OpenSim

- Lectura de la documentación de Second Life y OpenSim
- Desarrollo de pequeños tutoriales

#### 2. Estudio del diseño del laboratorio virtual

- Análisis de la implementación ya realizada
- Aprendizaje del protocolo de la práctica virtual

#### 3. Diseño e implementación de un tutorial

- Modelado de los objetos necesarios
- Configuración del componente Tutor
- Desarrollo de los comportamientos a través de scripts
- Realización de pruebas del tutorial

#### 4. Ejercicio virtual “Ligación de un gen amplificado en un plásmido”

- Configuración del componente Tutor
- Desarrollo de los comportamientos a través de scripts
- Definición precisa de los mensajes de tutoría con la ayuda de un experto en biotecnología
- Adaptación de varios componentes del laboratorio (abstracción y reutilización)
- Realización de pruebas de la práctica

#### 5. Adaptación de la práctica para alumnos de secundaria

- Adaptación del componente Tutor
- Adaptación de los mensajes del laboratorio
- Desarrollo de nuevos componentes visuales (indicaciones luminosas)
- Realización de pruebas de la versión adaptada

## 6. Adaptación del laboratorio de biotecnología para un entorno multilingüe

- Adaptación del componente Tutor
- Traducción de los mensajes del laboratorio con la ayuda de un experto en biotecnología
- Desarrollo de un componente Gestor de lenguajes
- Realización de pruebas de la versión adaptada

## 7. Memoria

- Documentación del trabajo realizado
- Redacción de la memoria

## 4. DESARROLLO

En esta sección vamos a comentar el proceso de desarrollo del Proyecto, partiendo de la parte ya desarrollada del laboratorio y explicando las nuevas modificaciones que han sido necesarias para cumplir con los objetivos propuestos en este trabajo.

### 4.1 Antecedentes

La situación inicial desde la que parte el Proyecto es la siguiente:

#### 4.1.1 Laboratorio de biotecnología

Nos encontramos con un laboratorio completamente modelado en un entorno 3D, tanto en lo referente a las instalaciones como a los objetos necesarios para llevar a cabo la práctica de biotecnología.

A continuación podremos ver la sala principal donde se realiza la fase de la práctica que se va a desarrollar en el proyecto y los objetos relacionados con la misma:

**Sala principal del laboratorio (figura 4.1).** En ésta los estudiantes disponen de su espacio de trabajo, así como de maquinaria, vitrinas con instrumental plástico y de vidrio, además de vitrinas y frigoríficos con productos químicos.



Figura 4.1 Sala principal

**Poyata** (figura 4.2). Es donde los estudiantes van a preparar algunas de las mezclas que se utilizan en la práctica virtual. Aquí pueden estudiar los fundamentos, el protocolo de la práctica y los conceptos básicos. Ésta contiene varios objetos, un escritorio, una pizarra, una silla, dos libros, una PCR, un horno, una microfuga y un botón para eliminar la última fase realizada de la práctica.



Figura 4.2 Poyata

**Pizarra** (figura 4.3). En ésta se muestra una diapositiva de bienvenida, además de las diapositivas de los fundamentos, el protocolo de la práctica, y los términos de Wikipedia según el libro que se haya tocado. Estas diapositivas tendrán botones para navegar entre ellas, es decir, un botón para avanzar a la siguiente diapositiva y otro para retornar a la anterior.

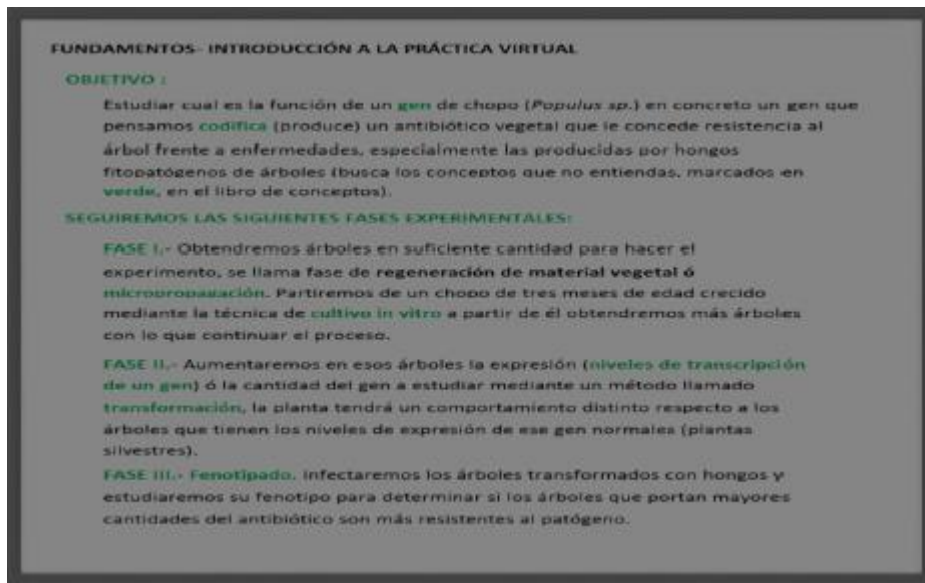


Figura 4.3 Pizarra

**Frigorífico (figura 4.4).** Contiene productos que necesitan ser refrigerados a -4°C (puerta superior) y -20°C (puerta inferior). Para agregar a la mezcla uno de éstos simplemente se debe tocar la puerta y seleccionarlo de una lista de productos disponibles.



Figura 4.4 Frigorífico

**Termobloque (Figura 4.5).** Nos permite introducir el gen amplificado por la PCR en el plásmido.



Figura 4.5 Termobloque

**Bandeja de hielo (Figura 4.6).** Nos permitirá coger las sustancias del frigorífico y llevarlas a la mesa de trabajo en condiciones favorables.

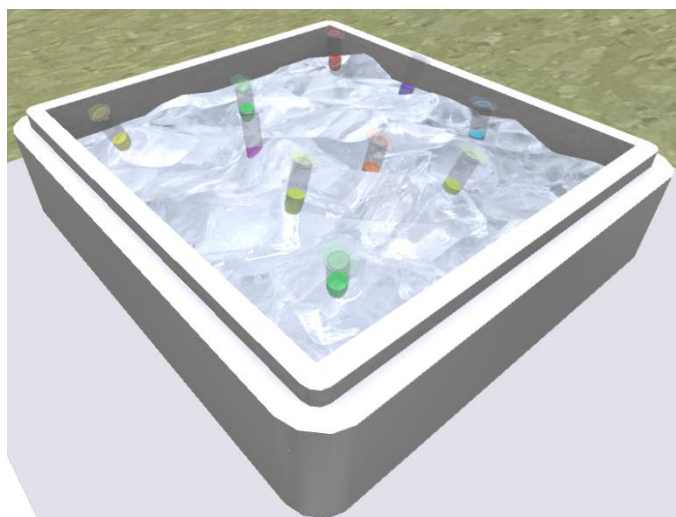


Figura 4.6 Bandeja de hielo



**Micropipeta amarilla (Figura 4.7)** Aparato que nos permite la toma y dosificación de volúmenes en cantidades muy pequeñas en el laboratorio (a concentraciones micromolares).



Figura 4.7 Micropipeta amarilla

**Tubo eppendorf (Figura 4.8)** Tubo de plástico autoclavable para la mezcla de reactivos en biología molecular utilizando volúmenes de hasta 2 ml.

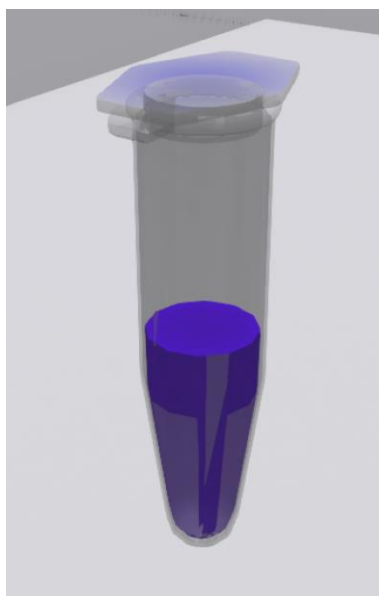


Figura 4.8 Tubo eppendorf

#### 4.1.2 Tutor

Este componente es muy importante en la práctica, ya que sin él no sería posible su realización. Se encarga de controlar la correcta realización de la práctica en el laboratorio, detectar los posibles errores y orientar a los alumnos sobre las siguientes acciones a realizar. Es invisible para los alumnos.

El tutor recibe las peticiones de validación de las acciones de cada alumno, y después de validar dicha acción envía el resultado de aprobación o de rechazo.

El proceso detallado de la interacción entre el avatar, los objetos del laboratorio y el tutor es el siguiente:

1. El avatar realiza una acción
2. El objeto que recibe la acción, manda un mensaje de petición de validación al tutor
3. El tutor procesa el mensaje y el resultado del proceso provoca que la acción del avatar se ejecute o no. Este resultado puede ser de tres tipos:
  - a. La acción se ejecuta debido a que es correcta
  - b. La acción se ejecuta pero su ejecución no es correcta, por lo tanto estamos dejando que el alumnos continúe haciendo la práctica a pesar del error
  - c. La acción no se ejecuta y el tutor no permite al alumno cometer un error
4. El tutor envía el resultado de la petición al objeto

Para validar las acciones, el tutor contiene en su inventario una nota llamada *EstrategiaDeTutoria* donde se describen las secuencias correctas de acciones que cada estudiante debe realizar en el laboratorio, así como los mensajes de tutoría que mostraría el sistema al alumno cada vez que éste realice una acción. También tiene otra nota llamada *Bloqueos*, en la que se indica, para cada objeto en uso que no puede ser propiedad de un avatar, qué avatar lo está utilizando temporalmente. De esta manera se evita que lo pueda utilizar otro avatar al mismo tiempo. Otra nota que utiliza el Tutor se llama *FaseActual*, la cual contiene en qué fase de la práctica se encuentra cada estudiante. Las acciones realizadas por cada estudiante se guardan en una nota con el nombre de su avatar, que representa el cuaderno de protocolo del estudiante. Los errores también son registrados de la misma forma.

La explicación completa del componente Tutor la podemos encontrar en [1].

Más adelante, hablaremos en profundidad sobre dicha estructura interna del tutor, ya que será necesario añadir modificaciones en la misma para realizar las dos adaptaciones del laboratorio: la de secundaria y la versión multilingüe.

#### **4.2 Diseño de una nueva fase de la práctica virtual**

En este apartado se va a explicar el diseño de la fase 3 “Ligación de un gen amplificado en un plásmido”. En ella encontraremos el modelo de protocolo, que es la definición del procedimiento a seguir en la fase; el modelo de dominio, donde veremos las relaciones entre todos los objetos activos que forman parte de la fase; y por último, el diseño de interacción entre los objetos activos, es decir, cómo se comunican los objetos entre sí y en qué términos.

### 4.2.1 Modelo de Protocolo

Se presenta el modelo de protocolo definido en la sección 3.1.3 para la fase 3 “Ligación de un gen amplificado en un plásmido”. Este modelo representa el procedimiento que debe seguir el alumno paso a paso y de forma ordenada, para obtener un resultado satisfactorio en la correspondiente fase.

Hemos definido dos macros que se repiten varias veces en el procedimiento de la fase y que posteriormente utilizaremos en la representación final del protocolo y que podemos observar en la Figura 4.9:

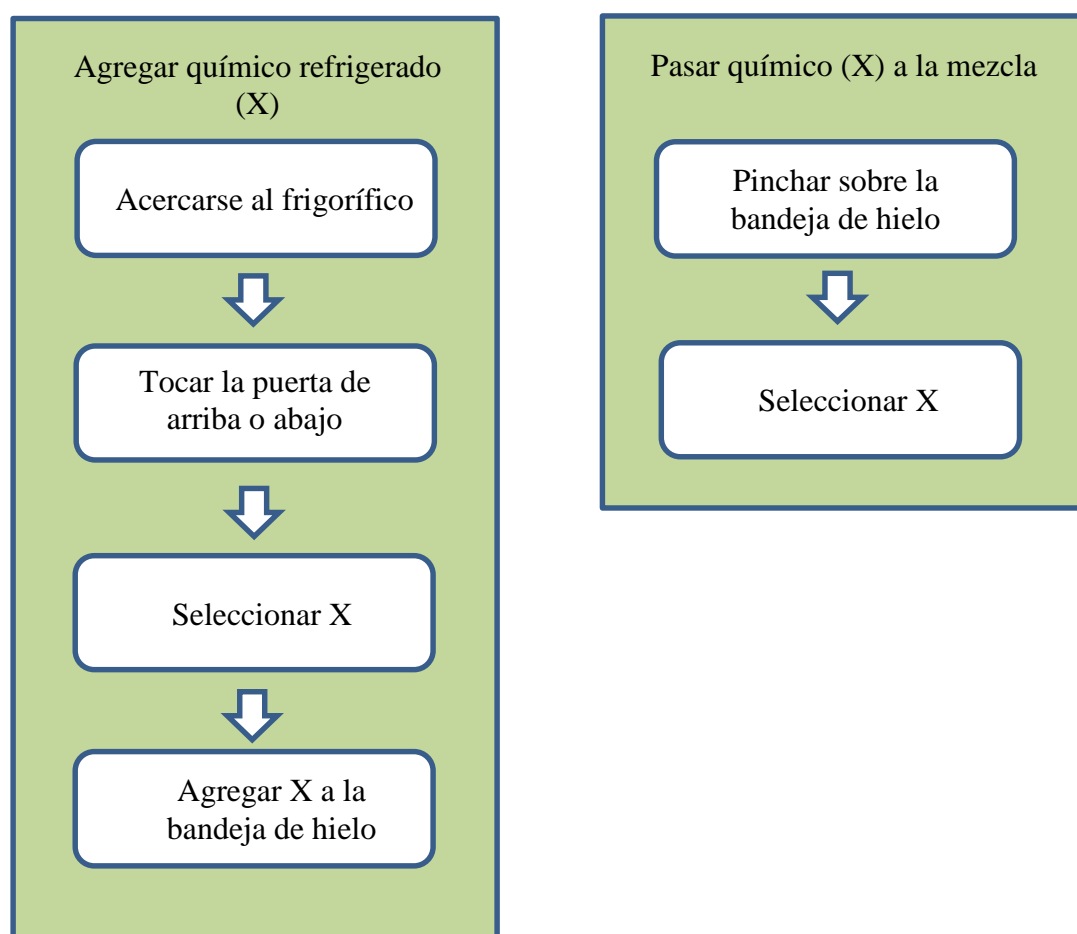


Figura 4.9 Macros

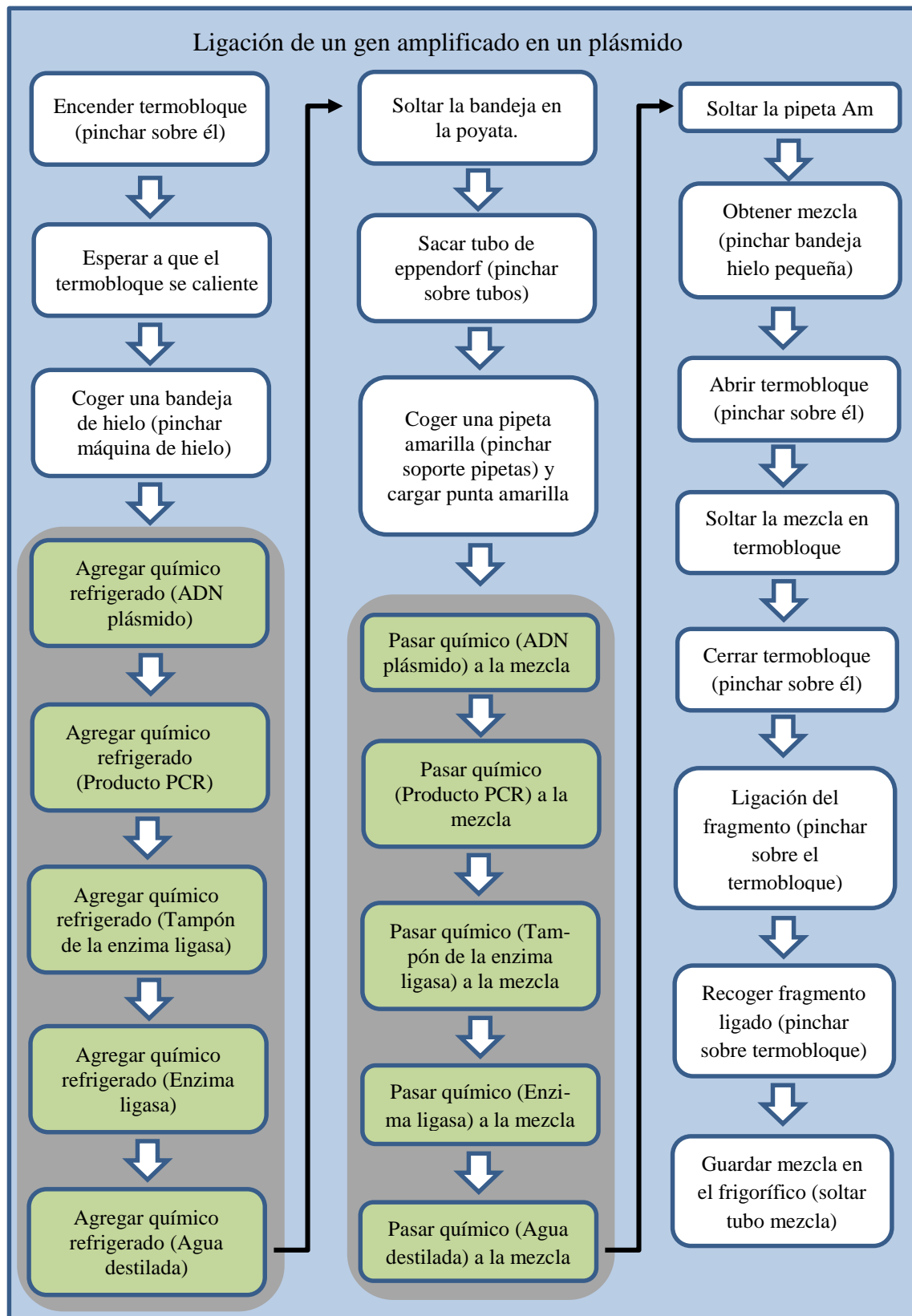


Figura 4.10 Modelo de Protocolo Fase 3

Como se puede observar en la Figura 4.10, las flechas indican el orden en el que se deben ejecutar las acciones, mientras que si dos o más acciones están encerradas en una caja gris, significa que pueden realizarse en cualquier orden, siempre y cuando todas sean ejecutadas después de la acción o la subtaska anteriores y antes de las siguientes indicadas en la secuencia del protocolo.

#### 4.2.2 Modelo de Dominio

En el modelo de dominio (figura 4.11) se muestran las relaciones entre los objetos antes mencionados y el componente tutor, que ayuda a validar las acciones de los estudiantes. Debido a esto se relaciona con los demás objetos con los cuales interactúa el estudiante.

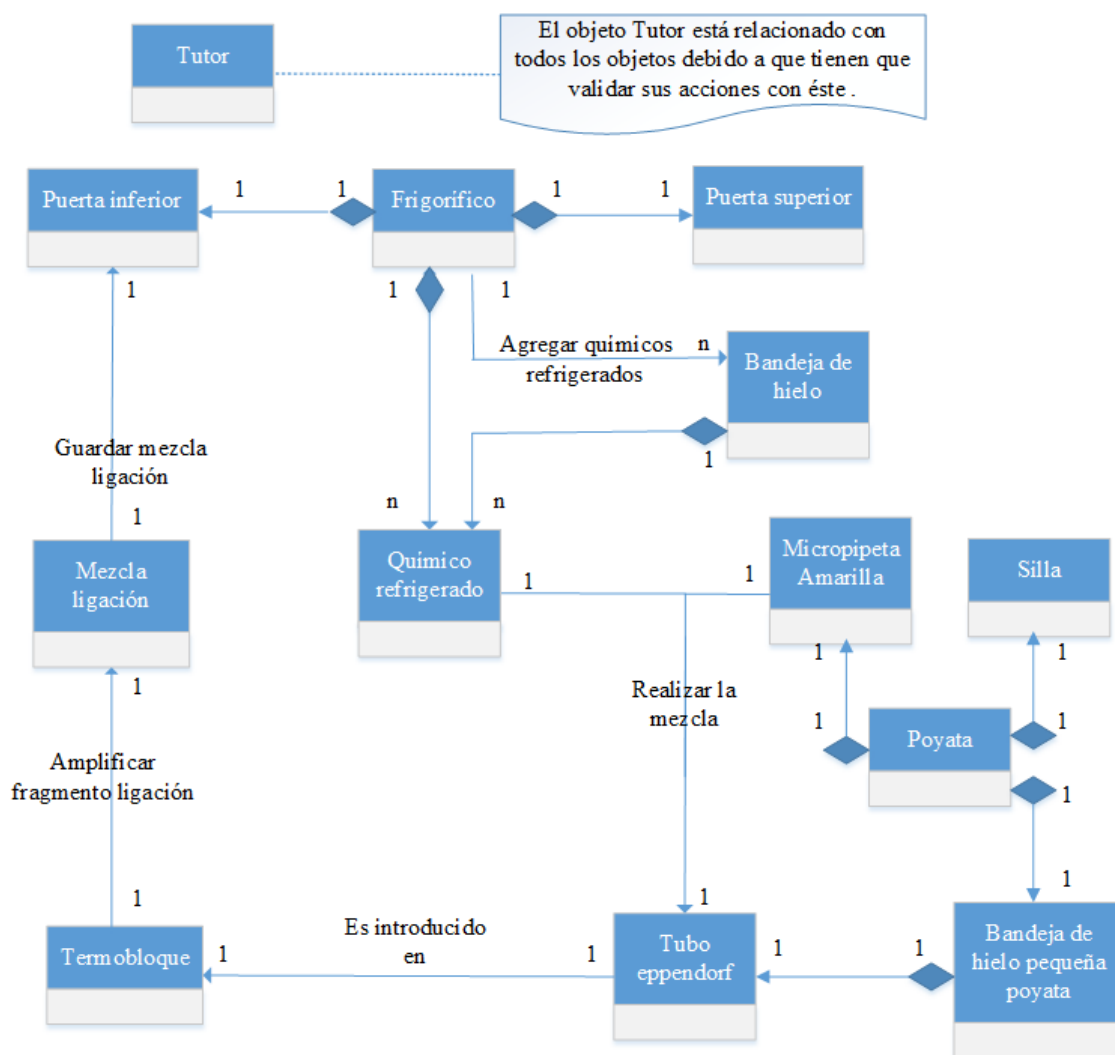


Figura 4.11 Modelo de Dominio Fase 3

Este tipo de relaciones pueden ser de dos tipos:

Por un lado las relaciones simples de dos o más objetos que interactúan entre ellos y que se denotan con la unión de los objetos a través de una línea.

Y las relaciones de pertenencia de un objeto a otro o de conjunto, que se denotan con la unión de ambos objetos a través de líneas direccionales y un rombo, el objeto que está unido al rombo indica que ese objeto contiene al objeto asociado a él. También se puede observar el tipo de relación que existe entre ellos 1:1, 1:n o n:n y que en este caso son todas 1:1, es decir, por cada frigorífico tiene asociado a él una puerta superior y una puerta inferior.

#### 4.2.3 Diseño de la interacción entre objetos

Los siguientes diagramas de secuencias muestran las interacciones entre el avatar, los objetos que se encuentran en el entorno virtual y el tutor. El avatar se encuentra siempre al inicio de todos los diagramas y las flechas que salen de él representan los eventos o acciones que puede ejecutar sobre los objetos. Una flecha que sale de un objeto A y llega a un objeto B denota una actividad que es ejecutada por el objeto A y que en algún momento de su ejecución manda un mensaje al objeto B. A continuación, se modelarán las principales tareas del protocolo detallado en la sección 4.2.1.

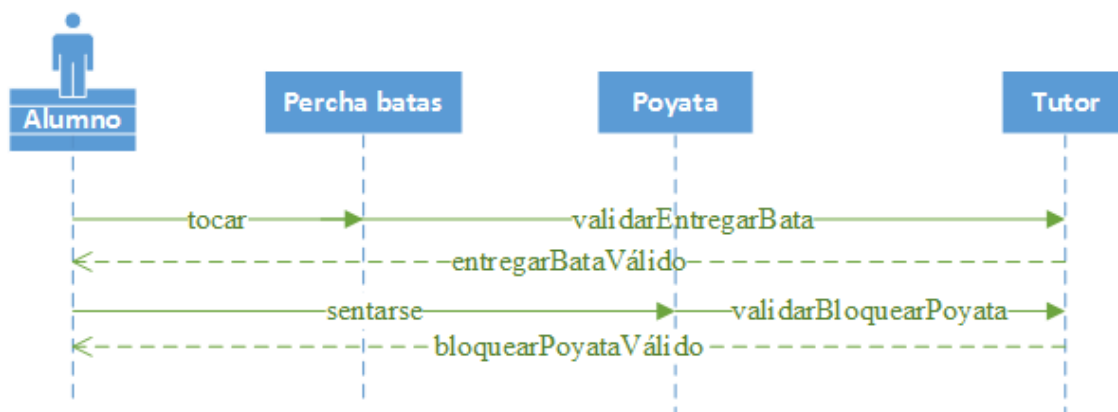


Figura 4.12 Reservar puesto de trabajo

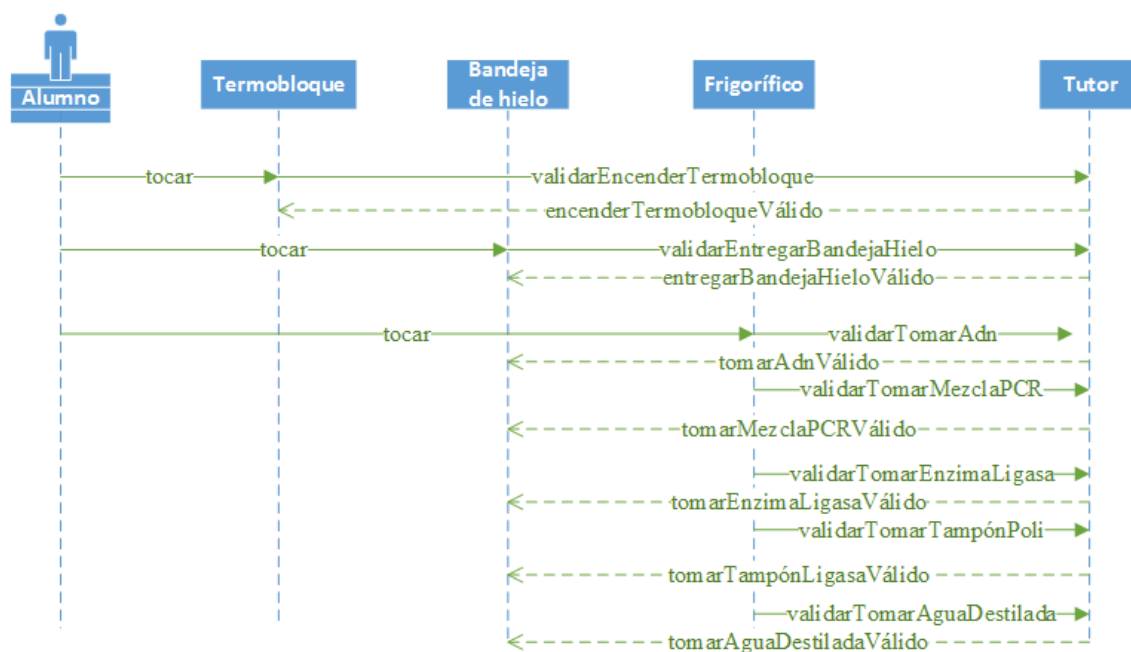


Figura 4.13 Diagrama de secuencia Agregar químicos a la bandeja de hielo

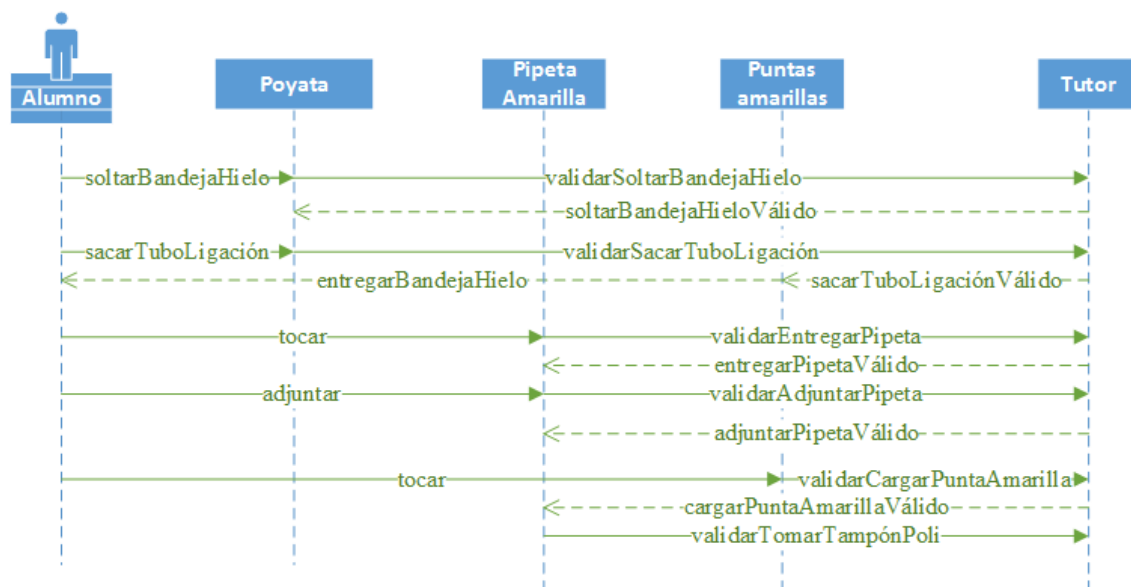


Figura 4.14 Diagrama de secuencia Preparación paso de químicos



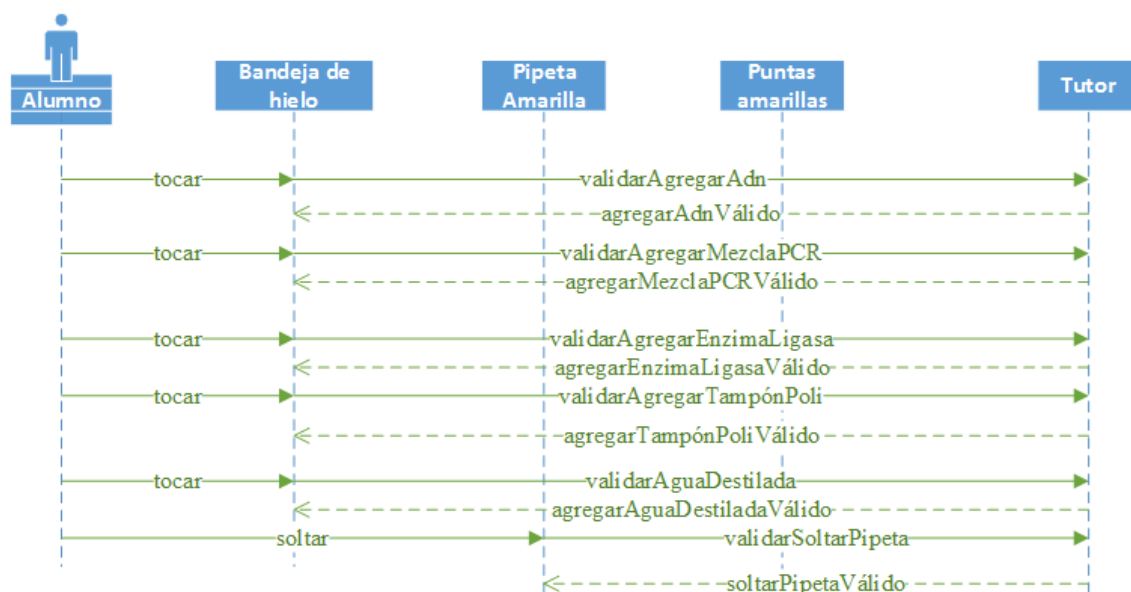


Figura 4.15 Diagrama de secuencia Agregar químicos mezcla ligación

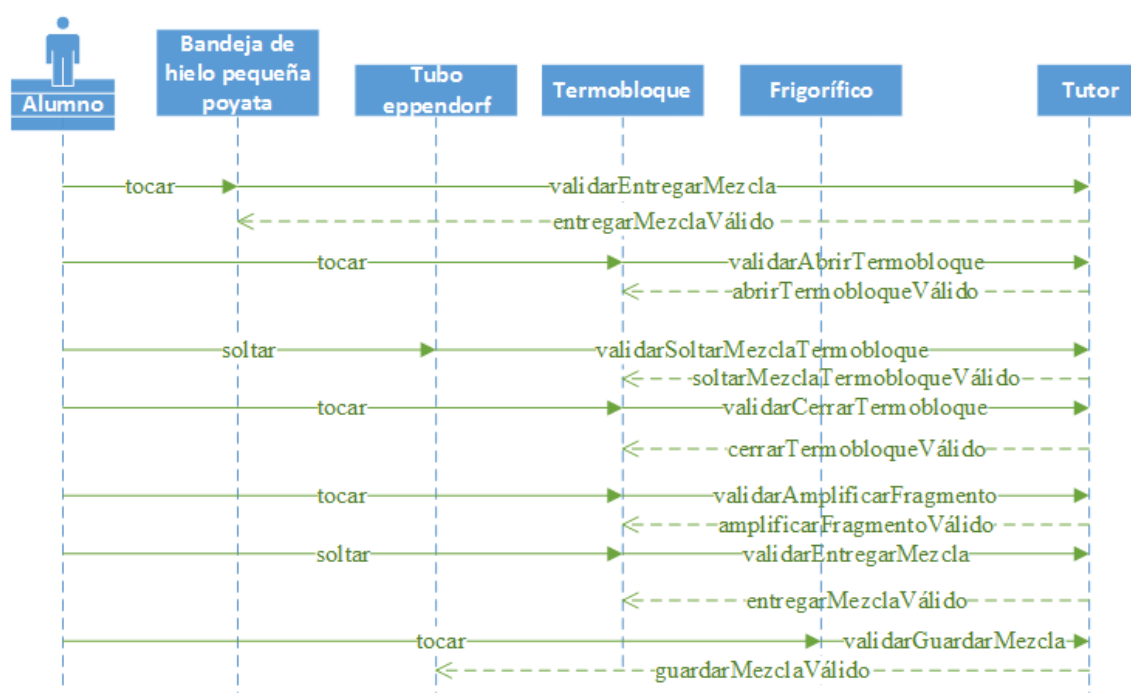


Figura 4.16 Diagrama de secuencia Amplificación del fragmento

#### 4.2.4 Definición de la estrategia de tutoría

En este apartado se va a explicar el desarrollo de la nota *EstrategiaDeTutoria*, en lo referente a su construcción. El trabajo consiste en traducir los tres apartados anteriormente desarrollados (Modelo de Protocolo, Modelo de Dominio y Diseño de interacción entre objetos) en un único fichero que el tutor pueda interpretar y llevar a cabo en las tutorías de los alumnos. Podemos observar este fichero en el Anexo A.

Para ello se han definido los siguientes contenidos:

- Mensajes de tutoría de la práctica, así como, la secuencia lógica de estos mensajes, en qué orden se le muestran al alumno y en qué situación.
- Acciones de la práctica virtual y su orden lógico
- Asociación de los mensajes de tutoría a las acciones de la práctica.
- Dependencias entre acciones
- Posibles incompatibilidades entre acciones
- Mensajes de error
- Tiempo mínimo y máximo de cada acción (calentar el termobloque o amplificar el fragmento lleva un tiempo asociado en la práctica virtual que simula el tiempo real)

#### 4.2.5 Consideraciones

Hemos tenido en cuenta las siguientes pautas:

1. Al ser un entorno multi-avatar podrían surgir posibles problemas de concurrencia entre varios avatares y un mismo objeto, por lo tanto, para evitar estos problemas se ha delimitado el uso de los objetos de uso común para que únicamente lo puedan utilizar un único avatar a la vez y el resto tenga que esperar su turno.
2. Esta pauta está muy relacionada con la anterior, el hecho de que puedan existir varios avatares a la vez realizando la práctica crea el problema en las comunicaciones entre los avatares y el resto de objetos del laboratorio incluido el propio tutor. Para ello todos los mensajes incluirán un id identificativo de cada avatar, lo que supondrá que todos los objetos cuando procesen el mensaje puedan determinar el receptor y/o posible destinatario, y puedan descartar el mensaje si dicho mensaje no está asociado a su avatar
3. Se ha programado el código dividiendo lo máximo posible su contenido en funciones para evitar la duplicidad de código, simplificar su compresión y permitir una sencilla integración de las distintas funcionalidades.

### **4.3 Adaptación de la fase para alumnos de secundaria**

En la realización de este apartado hemos partido de la fase 3 anteriormente desarrollada, por lo que, todos los diagramas desarrollados en el apartado anterior tendrían validez para éste, excepto una diferencia que detallaremos a continuación:

La diferencia que existe se ve reflejada en la Figura 4.10 (Modelo de Protocolo) y se debe a que en la parte que el tutor automático pide a los alumnos que vayan añadiendo las sustancias químicas refrigeradas, el orden de selección de químicos no afectaba mientras que en esta parte el tutor impondrá una secuencia estricta. Esto es debido a que el tutor le irá indicando al alumno uno a uno los químicos a añadir, cosa que no pasaba en la otra versión de la práctica virtual, en la que el tutor dejaba que el alumno escogiese libremente los químicos y esperaba al final de la fase para informarle de sus errores, en el caso de que existiesen.

Otra parte importante de este apartado es la referente a la necesidad de adaptar o modificar el tutor de acuerdo a las necesidades que requerían el tipo de indicaciones definidas en el apartado 3.2.2. Esto ha supuesto un cambio en la estructura interna del tutor y en el código del mismo. Además del tutor, también se han visto afectados por este cambio los scripts de todos los objetos que participan en la fase. Estos cambios los detallaremos a continuación.

#### **4.3.1 Desarrollo del tutorial**

En este apartado se va a explicar los pasos necesario para el desarrollo del tutorial. En primer lugar, necesitábamos incrementar el mobiliario de la cafetería ya que solamente existían tres máquinas: una de café, otra de refrescos y de snacks. Decidimos añadir una mesa con tazas de café, para que fuese de este lugar de donde el alumno cogiese una taza. La mesa se tomó de otra estancia del laboratorio y la taza de café se modeló con las herramientas de OpenSimulator.

Una vez integrados en la cafetería estos objetos, se definió el modelo de protocolo que es el siguiente:

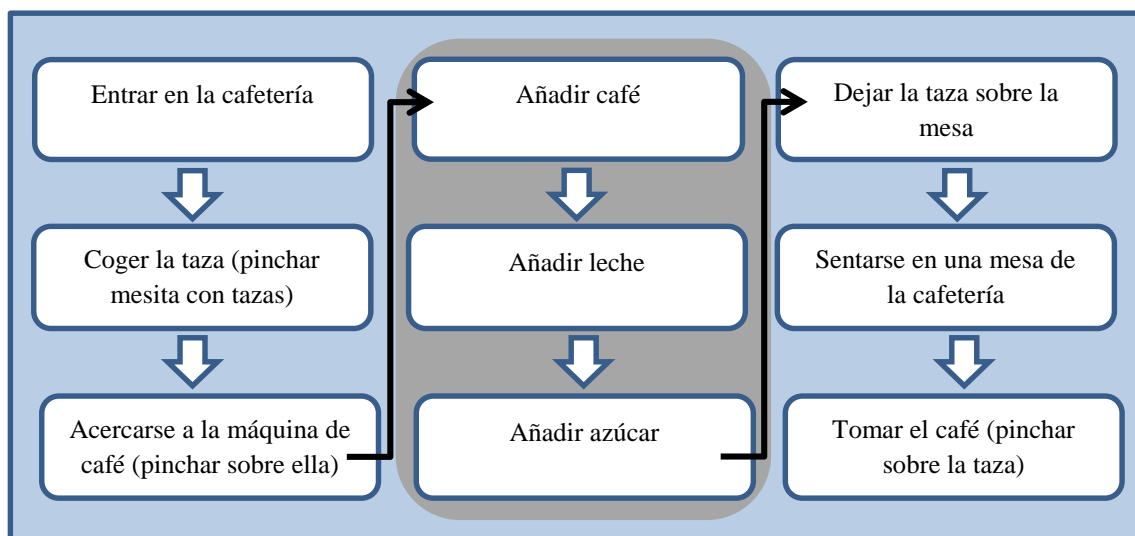


Figura 4.17 Modelo de Protocolo Tutorial

En este pequeño tutorial se han reproducido de forma rápida todas las formas de interacción posibles del laboratorio (adjuntar un objeto al avatar, soltar objetos, añadir productos a un objeto adjuntado en la mano, sentarse y pinchar sobre los objetos), que se realizan de la misma forma en la práctica para que los alumnos se puedan ir familiarizando con el entorno virtual. Recordar que las acciones que están encerradas en una caja gris, significa que pueden realizarse en cualquier orden.



Figura 4.18 Tutorial café

### 4.3.2 Adaptación de la fase 3 “Ligación de un gen amplificado en un plásmido”

#### Mejoras en la estrategia de Tutoría

Para realizar todas las adaptaciones hemos tenido que realizar una serie de cambios que afectan principalmente a la nota *EstrategiaDeTutoria*, ya que hemos añadido dos campos necesarios:

1. El primer campo nos servirá para establecer el objeto asociado a cada acción, éste viene definido en el protocolo de la fase de la práctica que el alumno tiene que realizar, y por lo tanto, sería el objeto que debería señalizarse gráficamente cuando la acción se vaya a realizar.
2. El segundo campo correspondería con el tipo de indicación del objeto especificado en el campo anterior.

Este segundo campo sigue el siguiente patrón, ya que se subdivide en tres subcampos separados por “|”:

Posición flecha | Distancia de la flecha al objeto | Brillo

Para estos subcampos hemos establecido una relación de términos para facilitar la configuración de las indicaciones que se desea mostrar a los alumnos. La relación de términos es la siguiente con sus respectivos significados:

| Término | Significado                      |
|---------|----------------------------------|
| AU      | Flecha arriba del objeto         |
| AD      | Flecha debajo del objeto         |
| AR      | Flecha a la derecha del objeto   |
| AL      | Flecha a la izquierda del objeto |
| ADe     | Flecha delante del objeto        |
| AA      | Flecha detrás del objeto         |
| N       | Sin señalización                 |
| B       | Brillo                           |

Figura 4.19 Terminología

El subcampo *Posición flecha* admite los términos AU,AD,AR,AL,ADe,AA y N.

El subcampo *Distancia de la flecha al objeto* admite valores numéricos si el valor es cero coge un valor por defecto.

El subcampo *Brillo* admite los términos B y N.

Podemos observar el fichero *EstrategiaDeTutoria* en el Anexo A.

Otros elementos que han sido modificados, han sido los mensajes de tutoría ya que han sido ampliados de forma considerable. Para ello, a los mensajes de tutoría que existían anteriormente, se les ha añadido más contenido para que los alumnos de secundaria puedan realizar la práctica sin problemas.

### **Cambios en el componente tutor**

También hemos necesitado crear dos notas nuevas para el tutor automático:

- *Relacion hijo-padre*: Contiene las relaciones existentes entre los objetos que contienen a otros objetos y que viene representada en la Figura 4.11 Modelo de Dominio.
- *Relacion nombre-id*: Contiene una relación nombre-id de todos los objetos del laboratorio.

Necesitaremos la nota *EstrategiaDeTutoria* para extraer los objetos que vamos a iluminar en cada opción y el tipo de señal luminosa.

Necesitaremos la nota *Bloqueos* para conocer qué objetos están libres y qué objetos están ocupados, es decir, están siendo utilizados, y en caso de estar ocupado, qué avatar lo está utilizando.

Necesitaremos la nota *Relacion hijo-padre* para conocer si un objeto está dentro de otro o si por el contrario no tiene ningún objeto relacionado. Esto es fundamental ya que los objetos que están dentro de otro no se bloquean en el fichero *Bloqueos*, ya que solamente se bloquean los objetos padre.

Necesitaremos la nota *Relacion nombre-id* para poder comunicarnos de forma directa con los objetos y poder conocer sus características.

El tutor va a ser el encargado de procesar en cada acción el tipo de señal asociada a ella y dependiendo del tipo de señal actuará de dos formas distintas. Si la señal luminosa se corresponde con un brillo, enviará un mensaje al objeto en cuestión para que parpadee; y si la señal luminosa es una flecha se encargará el propio tutor de la creación y posicionamiento de la misma.

El procesamiento de las señales luminosas sigue el siguiente procedimiento:

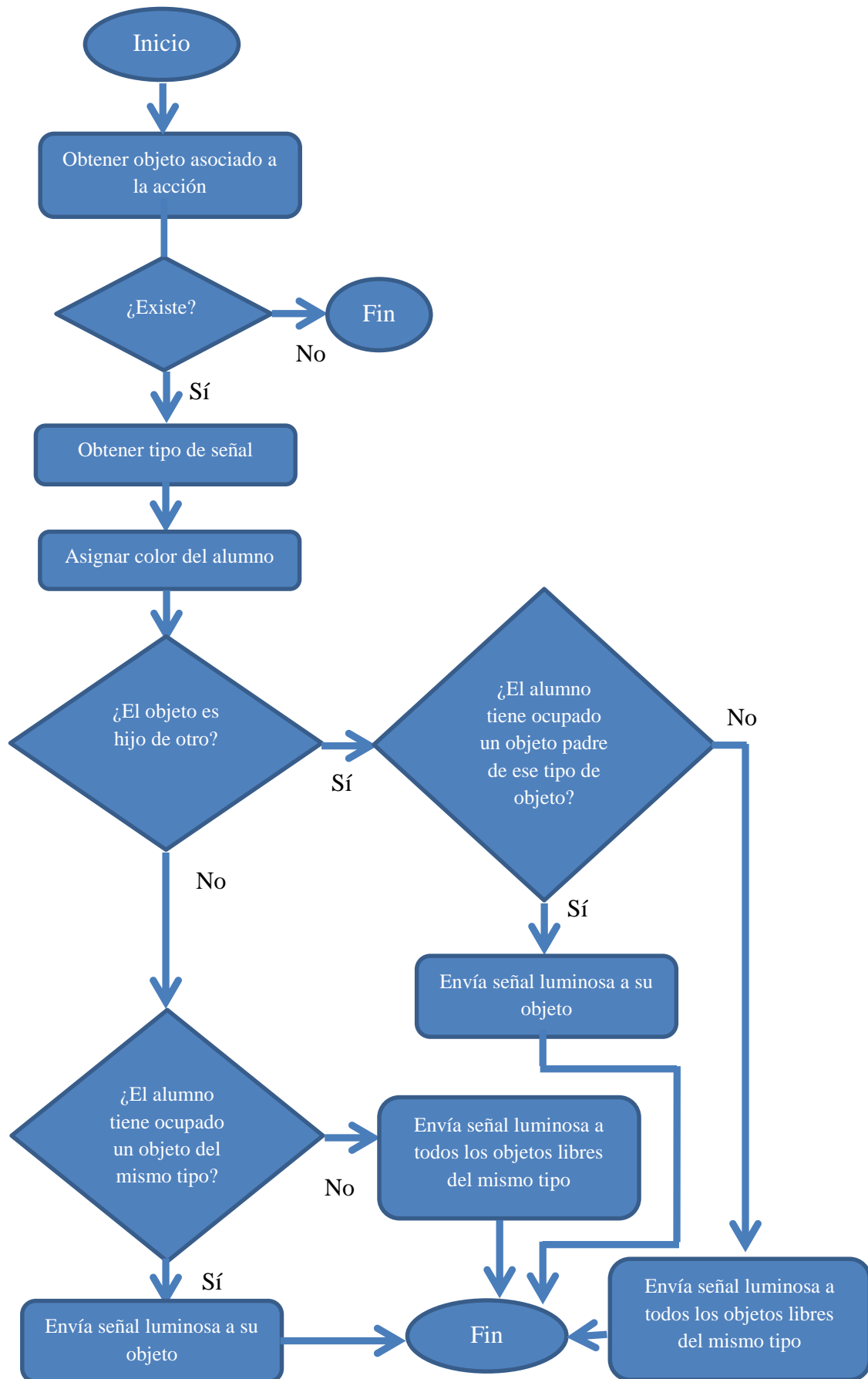


Figura 4.20 Diagrama de flujo para la Adaptación Secundaria

## Cambios en los objetos de la fase

En este apartado vamos a describir las modificaciones en los scripts de los objetos. La primera consiste en enviar al tutor su nombre y su id para que lo registre en la nota al principio de la práctica. Y la segunda consiste en incluir el mecanismo que se va a encargar de reproducir el efecto de parpadeo en el propio objeto cuando reciba la orden del tutor.



Figura 4.21 Indicaciones para un alumno de secundaria



Figura 4.22 Parpadeo de un objeto para un alumno de secundaria



#### **4.4 Versión multilingüe**

Esta sección corresponde con el desarrollo de la versión multilingüe del laboratorio de biotecnología. Para ello hemos adaptado el tutor para que pueda manejar distintos idiomas de forma simultánea para varios alumnos de distintas lenguas. Asimismo, se han adaptado todos los objetos del laboratorio que muestran algún tipo de mensaje al alumno.

##### **4.4.1 Cambios en el componente tutor**

En primer lugar, debemos crear las distintas versiones de la nota de *EstrategiaDeTutoria* cada una en un idioma distinto, es decir, la misma práctica pero con los mensajes de tutoría traducidos a distintos idiomas. A su vez, debemos llevar un registro del idioma de cada alumno y enviar a todos los objetos esta información. El tutor cargará una *EstrategiaDeTutoria* distinta en función del alumno y después irá consultando entre los distintos ficheros de tutoría para poder realizar una tutoría adaptada a cada alumno.

El tutor sigue el siguiente procedimiento:

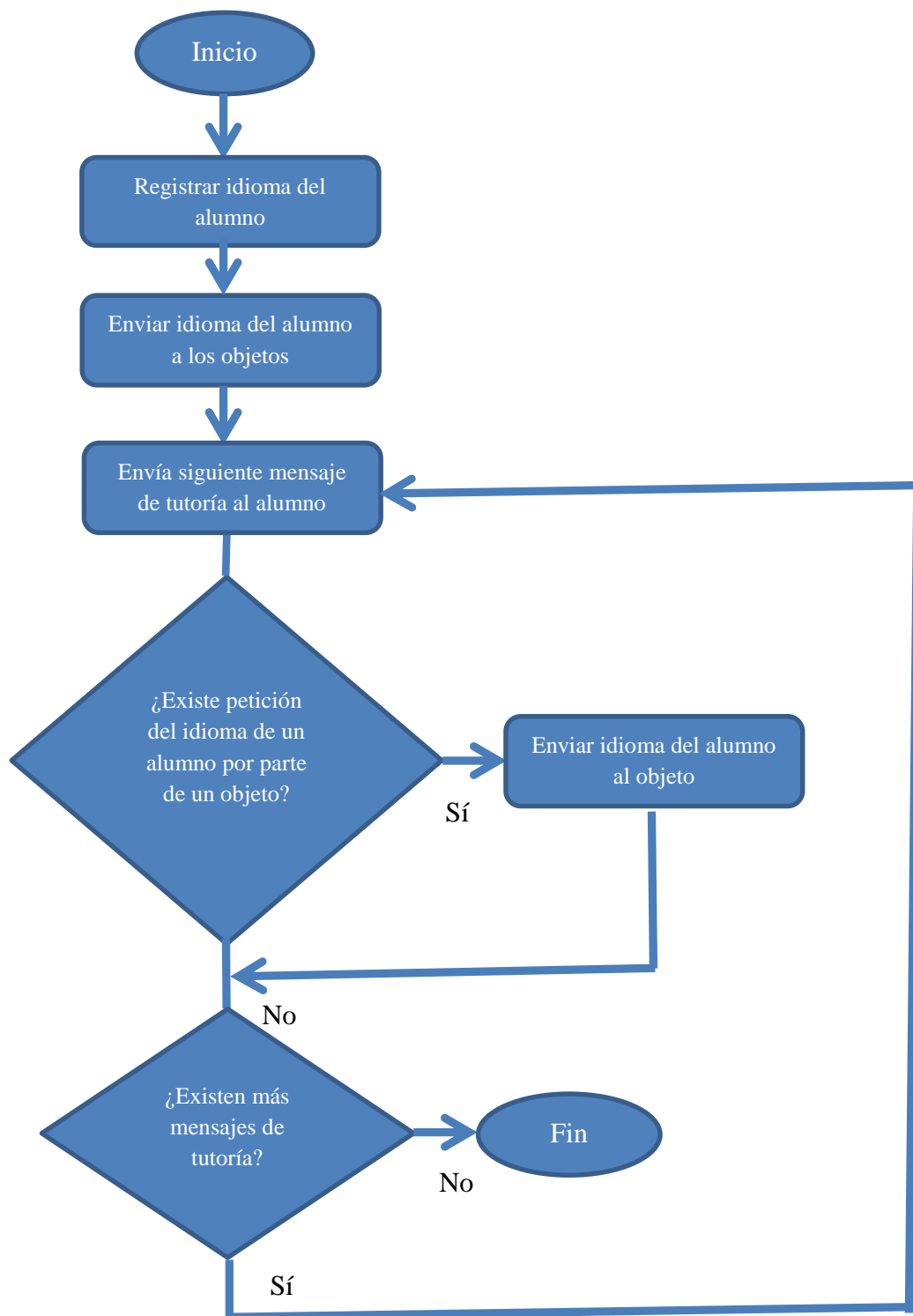


Figura 4.23 Diagrama de flujo para la Versión multilingüe

#### **4.4.2 Cambios en los objetos del laboratorio**

En este apartado vamos a describir los cambios en los scripts de los objetos. Los objetos que muestran un mensaje al alumno deberán incorporar una traducción del mensaje en los distintos idiomas del laboratorio y, a su vez, deberán conocer el idioma que habla cada alumno para poder mostrarle a cada uno un mensaje en su idioma.

Existen ciertos objetos que se crean de forma dinámica según se va ejecutando la práctica, estos objetos deberán, en el momento que se creen, consultar al tutor el idioma del alumno con el que están interaccionando para poder mostrarle el mensaje en su idioma.



## 5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Comenzaremos comentando los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en el pasado mes de Mayo con alumnos universitarios del primer curso de la Escuela de Ingenieros de Montes de la UPM. El número de alumnos que realizaron la prueba fue de cuarenta y tres, y los estudiantes realizaron el tutorial y las tres primeras fases de la práctica virtual con su propio ordenador. Al finalizar el ejercicio virtual, los alumnos rellenaron unas encuestas sobre su experiencia y los resultados obtenidos fueron muy satisfactorios. La puntuación media acerca de la satisfacción general sobre el laboratorio fue de 7 sobre 10, y las puntuaciones obtenidas por los alumnos que realizaron el ejercicio virtual en un test de conocimientos de la asignatura requeridos para realizar la práctica virtual fueron un 18% mejores que las puntuaciones de los alumnos que no realizaron la práctica y solo recibieron una formación meramente teórica.

Este proyecto es un ejemplo de los beneficios de los entornos virtuales para potenciar la educación mediante el uso de tecnologías *online*.

En la actualidad, el sistema educativo recibe cada vez un número más elevado de estudiantes y el Estado está reduciendo en gran medida los recursos destinados a la educación. En este contexto, los espacios virtuales educativos presentan ventajas frente al modelo tradicional, debido a que disminuyen costes. Además, su alcance puede ser mayor que el de un aula de clase o un laboratorio, ya que pueden llegar a más personas en distintas ubicaciones.

Otra ventaja importante sería que este tipo de espacios virtuales facilitan la colaboración de los alumnos lo que favorece un aprendizaje continuo. Esto se debe a que los alumnos pierden la vergüenza y se muestran más proactivos a participar en las clases o sesiones de laboratorios. El hecho de que el instrumental de la práctica sea virtual también facilita esta participación, ya que los alumnos pierden el miedo a que puedan romper algún equipo o provocar un accidente.

Por último, comentar mi experiencia con OpenSimulator en el desarrollo del laboratorio, pienso que es una buena herramienta para el desarrollo de entornos virtuales, ya que es gratuito y de código abierto. También cuenta con una gran comunidad de desarrolladores y una gran documentación. El principal problema es que muchas de las funciones específicas de OpenSimulator no funcionan bien y que el servidor aún no tiene una versión estable.

Como trabajo futuro, se podría seguir ampliando el laboratorio hasta completar las seis fases del laboratorio para dar al alumno una experiencia completa de una práctica de biotecnología y proveerlo de una mayor formación.

En lo referente a la adaptación de la fase para alumnos de secundaria, se podrían implantar todos estos mecanismos de ayuda en la versión oficial del laboratorio, y que el tutor los pudiese utilizar, si fuese necesario, para los alumnos que encontrasen más dificultades a la hora de realizar la práctica.

Esto supondría también una mejora del tutor para hacerlo más inteligente. De esta forma el tutor se podría adaptar mejor al alumno, reducir su ayuda para los alumnos que no la necesiten y centrarse más en los alumnos que encuentren mayores dificultades combinando tanto las ayudas textuales como las ayudas visuales.

Además, después de analizar el tutor, hemos detectado que sería interesante una reestructuración del mismo. Las razones son múltiples y necesarias para un correcto mantenimiento del laboratorio y una posible ampliación del mismo en un futuro, la primera es una limitación externa del propio visor, ya que el tamaño del *script* del tutor está en el umbral de lo permitido y no permite añadir más líneas de código. Esta saturación también es negativa en otro aspecto ya que al estar todo en el mismo *script*, acciones que se podrían ejecutar de forma paralela se ejecutan de forma secuencial. La estructuración nos permitiría mejorar la funcionalidad del tutor, a la vez de hacerlo más eficiente en su misión. Esto también nos permitiría una mejor comprensión de todas las funciones internas del tutor, ya que al estar todo en el mismo *script* es más complicado de entender el funcionamiento del mismo.

Y finalmente en la versión multilingüe, se podrían ampliar las traducciones a más idiomas, ya que en la actualidad solo se dispone de una versión castellana e inglesa.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Riofrío Luzcando Diego, *Diseño e implementación de un laboratorio virtual de Biotecnología*, Tesis de Master, Facultad de Informática, Universidad Politécnica de Madrid, 2012
- [2] Levis Diego, (1997-2006) ¿Qué es la realidad virtual? [Online] Available: [http://www.diegolevis.com.ar/secciones/Articulos/Que\\_es\\_RV.pdf](http://www.diegolevis.com.ar/secciones/Articulos/Que_es_RV.pdf)
- [3] Bartle, R. (2003). *Designing Virtual Worlds*. New Riders Games.
- [4] Bartle, R. (2005). *Virtual worlds: Why people play*. Charles River Media, Inc.
- [5] Bell, M. W. (2008). Toward a definition of virtual worlds. *Journal of Virtual Worlds Research*, 1:1-5.
- [7] Boulos, M. N. K., Hetherington, L., and Wheeler, S. (2007). Second life: an overview of the potential of 3-d virtual worlds in medical and health education. *Health Information & Libraries Journal*, 24(4):233-245.
- [8] Ernstberger, P. (2009). Linden dollar and virtual monetary policy. *Macroeconomics*.
- [9] Hrastinski, S. (2007). *Participating in Synchronous Online Education*. PhD thesis, Department of Informatics, School of Economics and Management, Lund University.
- [10] Kaplan, J. and Yankelovich, N. (2011). Open wonderland: An extensible virtual world architecture. *Internet Computing, IEEE*, 15(5):38-45.
- [11] Kumar, S., Gankotiya, A. K., and Dutta, K. (2011). A comparative study of moodle with other e-learning systems. In *Electronics Computer Technology (ICECT), 2011 3rd International Conference on*, volume 5, pages 414-418.
- [12] Linden Research, Inc. (2011b). History of second life. [Online] Available: [http://wiki.secondlife.com/wiki/History\\_of\\_Second\\_Life](http://wiki.secondlife.com/wiki/History_of_Second_Life).
- [13] Linden Research, Inc. (2011d). Second life education/get started. [Online] Available: [http://wiki.secondlife.com/wiki/Second\\_Life\\_Education\\_-\\_Get\\_Started](http://wiki.secondlife.com/wiki/Second_Life_Education_-_Get_Started).
- [14] Madrigal, Z. (2010). *Propuesta de Arquitectura para Incluir a las Simulaciones en los Sistemas de E-learning: Una Extensión al Modelo SCORM*. PhD thesis, Facultad de Informática, Universidad Politécnica de Madrid.
- [15] OpenSim Team (2011a). History [Online] Available: <http://opensimulator.org/wiki/History>.

- [16] OpenSim Team (2011b). What is opensimulator? [Online] Available [http://opensimulator.org/wiki/Main\\_Page](http://opensimulator.org/wiki/Main_Page).
- [17] Petrakou, A. (2010). Interacting through avatars: Virtual worlds as a context for online education. *Comput. Educ.*, 54:1020-1027.
- [18] Ramírez, J., Rico, M., Berrocal, M., Riofrío, D., and De Antonio, A. (2011). An opensim-based virtual lab for biotechnology education. *IEEE Learning Technology*, 13(4):18-20.
- [19] Renneberg, R. (2008). *Biotecnología para principiantes*. Reverté. Ed.
- [20] Rico, M., Martínez-Muñoz, G., Alaman, X., Camacho, D., and Pulido, E. (2011). A programming experience of high school students in a virtual world platform. *International Journal of Engineering Education*, 27(1):52-60.
- [21] Rico, M., Ramirez, J., Riofrio, D., Berrocal-Lobo, M., and de Antonio, A. (2012). An architecture for virtual labs in engineering education. In *Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2012 IEEE*, pages 1-5.



# ANEXO A

| Colores              |              | 0  | 1  | 2                       | 3                               | 4  | 5           | 8           | 10                     | 11                    | 14               | 17 |
|----------------------|--------------|--|--|-------------------------|---------------------------------|--|-------------|-------------|------------------------|-----------------------|------------------|----|
| #FaseTarea           | CódigoAcción | (1)ID-MensajeOK  | MensajeAcciónSiguiente   | Dependencias            | (1)ID- MensajeErrorDependencias | (1)ID- MensajeErrorIncompatibilidad  | TempoMaximo | TempoMinimo | ValidarAcciónRealizada | EnviarObjetosSesiones | Incremento Fecha |    |
|                      |              |  | practica, en primer lugar ve a la sala principal, pincha sobre la puerta para que se abra y finalmente pincha sobre la bata de la mano que se encuentran en una vitrina a la izquierda, para coeer una.  |                         |                                 |  |             |             |                        |                       |                  |    |
| Inicio de fase       | crear_loq    | 0-Cuaderno de protocolo creado                                 | Vuelve a seleccionar la práctica   |                         |                                 | 0-No se ha seleccionado la practica  | 0           | 0           | 1                      |                       |                  |    |
| Acciones             | borrar_fase  | 1-Ultima fase del laboratorio eliminada del libro de protocolo | Ponle la bata, para ello pincha sobre la opción forma de maletín, la opción Reagent y busca la bata. Cuando lo encuentres pincha doble click sobre la bata y le la pongas. A continuación, señálale en la silla de un puesto de trabajo para que le sea asignado                                     | [f10a-f10d]             |                                 | 1-No se ha seleccionado la practica  | 0           | 0           | 1                      | SinApoyata            | AU.0.N           |    |
| Fin de configuración | 1 1 f111     | 1-Bata en inventario   | Levántate y ve donde haya un termobloque libre, pincha sobre el para eliminarlo  | [f111]                  |                                 | 1-No se ha tomado la bata de la perota   | 0           | 0           | 1                      | Termobloque           | AU.0.B           |    |
|                      | 1 2 f112     | 0-Poyata tomada por estudiante                                 | Espera a que el termobloque se caliente, mientras abrocas a la máquina de hielo y obtén una bandeja.   |                         |                                 | 1-Quisee haber guardado la medida de PCR en la reverse   | 0           | 0           |                        |                       |                  |    |
|                      | 1 3 f113     | 1-Termobloque encendido  |  |                         |                                 | 1-No has leído los fundamentos   | 0           | 0           | -1                     |                       |                  |    |
|                      | 1 4 f114     | 0-Fundamentos leído  |  |                         |                                 | 1-No has leído los protocolos  | 0           | 0           | 1                      |                       |                  |    |
|                      | 1 5 f115     | Reefundamentos   |  |                         |                                 |  | 0           | 60          | 1                      |                       |                  |    |
|                      | 1 6 f116     | Calentamiento de termobloque                                   | Toma la bandeja con hielo, para ello pincha sobre la opción inferior de la pantalla con forma de maletín, la opción Reagent y busca la bandeja. Cuando lo encuentres pincha doble click sobre la bandeja y se adjuntará a tu mano. A continuación, acercate a un frigorífico para añadir sustancias. |                         |                                 |  |             |             |                        |                       |                  |    |
|                      | 1 7 f117     | 1-Bandeja de hielo entregada al inventario                     | En la puerta inferior del frigorífico, añade ADN   | [f117]                  |                                 | 1-No se ha entregado la bandeja  | 0           | 0           | 1                      | AgFrigorifico         | AU.2.N           |    |
|                      | 1 8 f118     | 0-Bandeja de hielo adquirida                                   | En la puerta inferior del frigorífico, añade Producto de PCR.  | [f118]                  |                                 | 1-No se ha entregado la bandeja  | 0           | 0           | 1                      | AgFrigorifico         | AU.2.N           |    |
|                      | 1 9 f119     | 1-ADN plasmido en bandeja                                      |  |                         |                                 | 1-No tienes la bandeja en las manos!-Para añadir esta sustancia tienes que haber añadido antes ADN | 0           | 0           | 1                      |                       |                  |    |
|                      |              |  | En la puerta inferior del frigorífico, añade Tampón de ligasa (donasa).  | [f119-f119]             |                                 | 1-No tienes la bandeja en las manos!-Para añadir esta sustancia tienes que haber añadido antes ADN | 0           | 0           | 1                      |                       |                  |    |
|                      | 1 10 f1110   | 1-Producto de PCR en bandeja                                   |  | [f119-f119-f1110]       |                                 | 1-No tienes la bandeja en las manos!-Para añadir esta sustancia tienes que haber añadido antes ADN | 0           | 0           | 1                      |                       |                  |    |
|                      | 1 11 f1111   | 1-Tampón de la enzima ligasa en bandeja                        |  | [f119-f119-f1110-f1111] |                                 | 1-No tienes la bandeja en las manos!-Para añadir esta sustancia tienes que haber añadido antes ADN | 0           | 0           | 1                      |                       |                  |    |
|                      |              |  | En la puerta superior del frigorífico, añade Agua destilada.   |                         |                                 |  |             |             | 0                      | 0                     | 1                |    |
|                      | 1 12 f1112   | 1-Enzima ligasa en bandeja                                     |  |                         |                                 |  |             |             | 0                      | 0                     | 1                |    |





[illegible]

Este documento esta firmado por



|                               |  |
|-------------------------------|--|
| <b>Firmante</b>               | CN=tfgm.fi.upm.es, OU=CCFI, O=Facultad de Informatica - UPM, C=ES                                      |
| <b>Fecha/Hora</b>             | Fri Feb 14 19:58:47 CET 2014   |
| <b>Emisor del Certificado</b> | EMAILADDRESS=camanager@fi.upm.es, CN=CA Facultad de Informatica, O=Facultad de Informatica - UPM, C=ES |
| <b>Numero de Serie</b>        | 630  |
| <b>Metodo</b>                 | urn:adobe.com:Adobe.PPKLite:adbe.pkcs7.sha1 (Adobe Signature)  |